



Frédéric Darriet

La vie sur Terre

Vol au-dessus
d'un nid de préjugés

Frédéric Darriet

La vie sur Terre

Vol au-dessus d'un nid de préjugés

© Frédéric Darriet, 2018

ISBN numérique : 979-10-262-1780-0



Courriel : contact@librinova.com

Internet : www.librinova.com

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

INTRODUCTION

Nul ne peut plus ignorer aujourd'hui que notre planète est unique, merveilleuse et foisonnante de vie. Sur terre, dans l'air ou bien encore dans les eaux des fleuves, des lacs et des océans, la vie nous enseigne que si elle a réussi à évoluer avec autant de diversité, elle n'en demeure pas moins aussi fragile que sa complexité est grande. La *VIE* ! Ce mot de trois lettres nous est devenu si familier que nous en avons presque oublié sa signification. Nos connaissances actuelles en biologie nous permettent de définir la cellule vivante comme une entité capable de s'auto-entretenir, de se reproduire et de se régénérer à partir des différentes sources d'énergie mises à sa disposition. Sur l'épineux problème de l'apparition de la vie sur Terre, sont apparus au cours des millénaires des courants de pensées très éloignés les uns des autres et prônant chacun, la vérité vraie et universelle. De nos jours encore, le monde se partage entre ceux qui croient que la vie est l'œuvre de Dieu, ceux qui pensent que le vivant a été sélectionné par un long et laborieux processus de sélection naturelle et ceux, enfin, qui croient que notre monde répond à des lois déterministes aussi anciennes que l'univers. Ainsi coincées entre foi en Dieu, évolution liée au hasard et évolution programmée, les différentes confessions campent sur leurs positions tout en écoutant, d'une oreille distraite, le discours des autres. L'histoire de l'humanité a par ailleurs montré qu'entre scientifiques et théologiens, les idées s'opposaient systématiquement en générant des débats souvent vides de contenu. Face à ce schéma de pensée somme toute assez sclérosant, je me suis efforcé d'écrire ce livre en racontant la naissance puis l'évolution de la vie sur Terre en essayant de rester objectif aux discours développés par les sciences du vivant, la Bible et les déterministes. Afin que l'exercice demeure impartial, il m'a fallu explorer l'histoire de notre planète à travers un jeu de lentilles dont la position des unes par rapport aux autres améliore la profondeur de champ ; voir ce qui se trouve sur le devant de la scène tout en conservant une vision détaillée des plans plus éloignés. Cet ouvrage n'a pas la prétention de lever les énigmes liées à l'apparition de la

vie sur Terre ; d'ailleurs il est d'ailleurs probable que l'humanité n'en perce jamais les secrets. Selon la datation carbone des fossiles les plus anciens, les premières cellules auraient vécu il y a de cela trois milliards d'années dans les eaux d'un océan primitif. Difficile d'appréhender une période de temps aussi longue et plus difficile encore est de s'imaginer les processus physico-chimiques qui ont transformé la matière inerte en étincelle de vie. Les ouvrages scientifiques traitant des origines de la vie et de son évolution se comptent par milliers. Beaucoup moins nombreux toutefois sont les écrits qui abordent la vie en n'opposant pas systématiquement le hasard scientifique, les écrits bibliques et l'idée que l'univers est programmé. C'est dans cet esprit d'ouverture que je me suis engagé et j'ai été surpris de constater tout au long de ce passionnant travail de recherche, que les barrières s'écroulaient d'elles-mêmes à mesure que j'avancais. Le mur soi-disant infranchissable que la science et l'église chrétienne dresse au nom de la différence de pensée n'est en réalité qu'un château de carte posé sur du sable sec. L'enjeu de cet ouvrage se trouve aussi et surtout dans le champ de réflexion immense que soulève l'unification des trois grands moteurs de la pensée humaine. Mais ne tardons plus et allons maintenant nous aventurer au-delà de ce nid de préjugés et découvrir l'histoire de la vie sur Terre dont les racines s'ancrent dans les profondeurs d'un océan primitif et dans les eaux duquel... tout a commencé.

CHAPITRE 1

LA SCIENCE, LA RELIGION ET LE DÉTERMINISME

Si la science a pour vocation de comprendre le monde en s'appuyant sur des preuves et des démonstrations, la religion au contraire fait appel à un raisonnement beaucoup moins logique. Entre ces deux fonctionnements de la pensée se situe le déterminisme qui, lui, prône un univers dirigé par des lois établies à l'avance. Des racines de l'humanité à nos jours, la science et la religion ont tenté d'expliquer le monde en usant, chacune, de méthodes différentes. Or l'histoire nous l'a montrée à de multiples reprises, la science et la religion ne peuvent exister l'une sans l'autre dans la mesure où l'une et l'autre tirent leur substance du même ferment : l'homme.

LA SCIENCE FACE À LA RELIGION

Nous pouvons affirmer sans trop nous tromper que l'esprit scientifique est apparu en même temps que l'intelligence humaine. Avec la découverte du feu, nos lointains ancêtres ont pu passer d'un régime végétarien à celui d'omnivore. Le feu permet de faire cuire la viande, ce qui la rend plus savoureuse et plus digeste aussi. Le feu réchauffe le clan autour des flammes tout en éloignant les bêtes sauvages qui rôdent la nuit. Le feu accompagne les hommes qui se déplacent de plaines en plaines pour assurer leur subsistance. En observant le monde qui l'entoure, l'homme apprend à ne pas répéter les mêmes erreurs. Son esprit de déduction l'amène à découvrir que le bois passé à la flamme devient plus solide, que certaines plantes peuvent être consommées alors que d'autres ne le peuvent pas, qu'en tapant sur un morceau de silex avec un autre silex, il est possible d'extraire des fragments de roche coupants qui peuvent être utilisés comme couteaux, racloirs ou pointes de flèche. De découverte en découverte, l'homme va apprendre à maîtriser son environnement. Il imagine des armes toujours plus performantes pour la chasse et la guerre, construit des huttes de peaux puis des maisons, invente l'écriture. Des textes mésopotamiens vieux de 7000 ans font état d'une profonde connaissance des plantes et de

leurs usages en agriculture et en médecine. Dans la Grèce antique, le philosophe grec Aristote (384-322 av. J.C.) fut le premier à imaginer un système de classification des plantes et des animaux. Aristote posa ainsi les fondements du fixisme, doctrine selon laquelle il est avancé que toutes les espèces animales et végétales sont les produits de créations éternelles et immuables. Quelques siècles plus tard en Égypte, Claude Ptolémée (90-168) proposait sa vision géocentriste selon laquelle la Terre créée par Dieu se trouvait placée au centre de l'univers. Ptolémée tenta d'expliquer les mouvements des planètes, de la lune et du soleil. Il avança que les planètes et le soleil de notre système tournaient autour de la Terre en un mouvement rotatif qu'il appela « épicycle ». Le fixisme d'Aristote et le géocentrisme de Ptolémée devinrent les deux pierres angulaires de la pensée du Moyen-âge. Cette idée de centralité de l'homme dans l'univers se retrouva de surcroît amplifiée par les messages véhiculés par la Bible. Les érudits et les philosophiques dont les réflexions s'éloignaient des vérités divines périrent sur le bûcher ou par l'échafaud. L'inquisition composée d'ecclésiastes influents était en effet chargée de punir ceux dont la pensée s'écartait des écrits bibliques. La science devint le monopole de l'église, les thèmes abordés étant limités à l'étude des calendriers lunaire et solaire. Il s'agissait d'une science sans profondeur, reléguée loin derrière les priorités spirituelles. Rares furent les esprits qui affrontèrent l'église mais il en fut certains qui bravèrent cet interdit au péril de leur vie. Le philosophe italien Bruno Giordano (1548-1600) déclama : « *Les étoiles sont des soleils comme le nôtre et il y a une multitude de soleils librement suspendus dans un espace sans limite, entourés de planètes comme notre Terre, peuplées d'êtres vivants [...]* ». D'avoir eu l'audace de prononcer ces paroles jugées hérétiques, Bruno Giordano fut torturé par l'inquisition catholique et brûlé vif à Rome le 16 février 1600. De même l'astronome et mathématicien italien Galiléo Galilei (1564-1642) soutint, comme le fit avant lui Nicolas Copernic (1473-1543), que c'était le soleil et non pas la Terre qui se trouvait au centre du système solaire. En 1614, Galilée fut sommé de s'expliquer sur ses idées sacrilèges. Dans un premier temps, le savant refusa d'obtempérer. Le tribunal de l'inquisition le condamna à une peine de prison suivie d'une assignation à résidence. Vieux et déprimé, Galilée finit par abjurer ses découvertes. Ainsi du Moyen-âge à la florissante Renaissance, la science

souffrit de l'hermétisme d'ecclésiastes aussi puissants dans l'église catholique que dans les affaires de l'état. Toutes les disciplines qui abordaient la mécanique céleste où bien l'histoire du vivant n'avaient pas d'autre choix que d'accepter les idées de géocentrisme et de fixité des espèces. Dieu avait placé la Terre au centre de l'univers et conçu les espèces vivantes, toutes parfaites au moment de leur création. Malgré cet hermétisme intellectuel, certaines disciplines ne souffrirent pas des attaques de l'église. Ainsi Léonard de Vinci (1452-1519) dont la force d'invention n'eut d'égal que le génie de son sens artistique passa outre les foudres de l'église. De Vinci ne tenta pas de percer les mystères de l'univers ni de savoir comment la vie avait évolué, il employa son génie à la conception de machines comme l'hélicoptère, le parachute, le sous-marin et le char d'assaut, à l'urbanisme, l'architecture, l'anatomie, la sculpture, la peinture, la philosophie et la poésie. Vingt ans après sa mort, François 1^{er} dira du savant : « *Il n'y a jamais eu un autre homme né au monde qui en savait autant que Léonard, pas autant en peinture, sculpture et architecture, comme il était un grand philosophe* ». Au milieu du 15^{ème} siècle, le mathématicien et philosophe britannique Isaac Newton (1643-1727) découvrit l'attraction universelle. Cette avancée sans précédent ouvrit la voie de la mécanique céleste selon laquelle tout corps obéit à la loi unique de la gravitation universelle (Newton, 1687). Or Newton restait persuadé que sa loi appliquée au niveau du système solaire n'était pas viable. La mécanique céleste ne pouvait d'après lui, se maintenir en place qu'avec l'aide d'une présence divine, intelligente et toute puissante. Ce ne fut finalement que 90 ans plus tard, que le mathématicien et physicien français Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) confirma que la loi de Newton suffisait à expliquer à elle seule le mouvement des planètes autour du soleil.

Dans le domaine des sciences biologiques, le travail du naturaliste suédois Carl Von Linné (1707-1778) fut de même et à bien des égards, exemplaire. Passionné par le monde des plantes, Linné mit au point la nomenclature dite « binomiale », toujours usitée de nos jours. Chaque espèce - qu'elle soit végétale ou animale - est ainsi désignée par deux noms, un nom commun propre à plusieurs espèces voisines (genre) et un nom différent pour chaque membre du groupe (espèce). Selon cette

hiérarchisation du vivant en règne, embranchement, classe, ordre, famille puis genre et espèce, le taxonomiste publia un ouvrage d'une dizaine de pages qu'il baptisa « *Systema Naturae* » (Linnaeus, 1735). Soixante-quatre ans après le premier opuscule, la troisième édition de l'ouvrage comptait 6000 pages. Carl Von Linné défendait le fixisme et ne décrivait, disait-il, que les caractères apparents du vivant. Pour lui, chaque espèce avait fait l'objet d'un acte de création distinct et immuable. Carl Von Linné avança par ailleurs que l'homme et le singe avaient été tous les deux créés par Dieu, séparément, en attestait la supériorité morale et intellectuelle de l'homme sur son cousin arboricole. Si Linné passa sa vie à étudier les caractères macroscopiques des plantes et des animaux, d'éminents scientifiques préférèrent explorer le monde de l'infiniment petit. Depuis l'Antiquité jusqu'à très récemment encore, la science expliquait la naissance des êtres vivants à partir de la matière organique en décomposition. Ce dogme appelé génération spontanée ou « abiogenèse » était simple à démontrer ; il suffisait de laisser un morceau de viande à l'air libre pendant quelques jours pour voir apparaître des asticots puis des mouches. Si les mouches naissaient ainsi de la pourriture, il en était certainement de même pour les autres créatures vivantes. En 1668, le naturaliste hollandais Antoni Van Leeuwenhoek (1632-1723) bricola à l'aide d'une bille de verre et d'une plaque de métal, un appareil qui, lorsqu'il le tenait près de son œil, grossissait l'objet étudié. En observant de cette manière des gouttes d'eau stagnante, Leeuwenhoek découvrit un monde foisonnant de bactéries et de protozoaires. Fort de ses observations, Leeuwenhoek s'opposa donc aussitôt contre l'idée de la génération spontanée. Les découvertes pourtant nouvelles du Hollandais n'eurent pas beaucoup d'impact au sein de la communauté scientifique. Le naturaliste Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon (1707-1788) insista même à prétendre que la matière était animée d'une force de vie qui ne pouvait être que d'essence divine. En dépit de ses convictions religieuses, le comte de Buffon avança toutefois l'hypothèse que la Terre semblait plus âgée que les 6000 ans déclamés par la Bible. Le naturaliste français Georges Cuvier (1769-1832) consacra quant à lui une grande partie de sa vie à étudier les fossiles. La paléontologie venait de naître. À force d'observations, Cuvier en déduisit que la Terre avait connu des crises biologiques d'une rare violence qui, à plusieurs reprises, avaient décimé

d'importantes communautés animales et végétales. Pour ne pas heurter les autorités religieuses, le savant fondateur de la paléontologie présenta le déluge comme étant la dernière de ces grandes crises biologiques. Beaucoup moins mesuré dans ces propos, Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) remit en cause le fixisme des espèces vivantes en développant une théorie qu'il appela le transformisme. Le naturaliste français formula en effet une loi selon laquelle l'usage intensif d'un organe occasionnait sa transformation. Les girafes allongeaient ainsi leurs cous en allant chercher leur nourriture sur les branches les plus hautes des arbres. Si Lamarck posa les premières bases de la transformation des espèces, l'idée d'évolution prit pleinement son sens lorsque Charles Darwin (1809-1882) publia son livre « L'origine des espèces » (Darwin, 1859). Selon Darwin, la diversité de la vie sur Terre aurait été dirigée par un processus de sélection naturelle où les espèces les mieux adaptées survivent alors que celles qui ne le sont pas, disparaissent. Cette conception nouvelle de la vie ne fit pas, et de loin, l'unanimité. En énonçant ainsi publiquement ses idées, Darwin dérangerait les milieux ecclésiastiques. Une situation d'autant plus inconfortable pour lui qu'il ignorait comment les caractères favorables à la sélection naturelle se transmettaient d'une génération à l'autre. Il faut dire que Darwin ignorait tout des travaux d'un de ses contemporains, Johann Grégor Mendel (1822-1884) qui, le premier énonça les lois de la transmission des caractères héréditaires. Lorsque Mendel commença à se passionner pour les sciences naturelles et qu'il fit pousser dans son jardin un mélange de pois lisses et de pois ridés, personne ne prêta attention à ses recherches. En 1866, Mendel publia un article compilant dix années d'expérimentations. Les recherches du moine catholique se révélèrent si en avance sur son époque, qu'elles ne furent reconnues qu'au début du 20ème siècle. Le darwinisme fut aussi réinterprété à la lumière des découvertes faites en génétique.

Encadré 1

La découverte de l'ADN

En 1953, James Watson et Francis Crick firent une découverte qui changea radicalement notre vision du vivant. Les deux biologistes américains découvrirent en effet la structure en double hélice de l'acide

désoxyribonucléique (ADN). L'ADN se compose d'une suite de paires de bases azotées (de quelques millions pour les bactéries à trois milliards pour l'homme) reliant ses deux brins ; l'adénine (A) se positionnant toujours face à thymine (T) et la cytosine (C) toujours face à la guanine (G). En 1957, Watson et Crick émirent l'hypothèse que cette longue suite de combinaisons à quatre lettres constituait les instructions codées de chaque être vivant.

Cette approche nouvelle de l'évolution fut baptisée en 1952 « néodarwinisme » ou « théorie synthétique de l'évolution » par le biologiste britannique Julian Huxley (1887-1975). Selon le néodarwiniste classique, les pressions de sélections générées par les milieux modifient constamment et graduellement les caractéristiques génétiques des espèces vivantes. En partant de là, les néodarwinistes ne voyaient plus la macroévolution que comme une microévolution soutenue pendant des centaines de millions d'années. Une vision de l'évolution très réductrice qui selon plusieurs grands scientifiques contemporains (Denton, 1985 ; Shapiro, 1986 ; Gould, 1989) n'explique pas les transformations majeures qui ont affecté le monde du vivant. Les paléontologues américains Stephen J. Gould (1941-2002) et Niles Eldredge avancèrent dans leur théorie « *des équilibres ponctués* » que les mécanismes de la sélection des espèces n'étaient pas graduels au cours du temps mais bien au contraire hasardeux (Gould & Eldredge, 1972). La météorite à l'origine de la disparition des dinosaures a permis l'essor des mammifères et donc, subséquemment, l'apparition de l'homme. Si cette météorite n'était pas tombée sur Terre, les grands reptiles seraient restés les maîtres de la planète et l'homme, un oublié du temps. D'ailleurs pour Gould et Eldredge, si le temps détenait le pouvoir de repartir à zéro et de dérouler une nouvelle fois le film de la vie, il est très probable que l'évolution prendrait une voie différente. Comble de l'ironie, si nous avons le loisir d'étudier ce nouvel et hypothétique chemin de l'évolution, celui-ci nous apparaîtrait tout aussi naturel que celui que nous vivons en ce moment.

LA RELIGION FACE À LA SCIENCE

Les peintures ainsi que les sculptures retrouvées dans les grottes attestent que les hommes ont éprouvé très tôt dans leur histoire, un véritable besoin de spiritualité. Les animaux, le passage des saisons, la Lune et les étoiles dans le ciel représentaient autant de sujets de peur ou d'émerveillement. L'homme préhistorique appréhendait le monde avec l'œil innocent de celui qui découvre les mystères de la vie. Ainsi, après plusieurs dizaines de milliers d'années de questionnement sur le monde, l'humanité se forgea une multitude de dieux et de déesses. Durant ces 4000 dernières années, trois grandes religions monothéistes ont alimenté l'histoire des hommes. Pour le christianisme et le judaïsme, l'univers fut créé par Yahvé alors que pour l'islam, c'est Allah qui en fut à l'origine. Au même titre que la religion chrétienne impacta l'histoire des civilisations occidentales, l'islam influença fortement celles situées à l'orient. À l'intérieur des grands royaumes de l'Europe médiévale, l'église chrétienne très impliquée dans les affaires politiques édictait sa façon de percevoir la vie et de la cosmologie. La Bible raconte des histoires de conquêtes et de destinées humaines où la généalogie de certains de ses protagonistes conduit à la personne de Jésus-Christ. Or les linguistes le savent maintenant, certains des écrits de l'ancien testament ont été très fortement inspirés par la culture sumérienne établie en Mésopotamie (sud de l'Iraq), voici 5000 ans. C'était un peuple socialement très avancé qui avait inventé l'écriture plusieurs siècles avant les Égyptiens. Les Cananéens - les prédécesseurs des Hébreux en Palestine - côtoyèrent les Sumériens pendant de nombreux siècles. Il s'établit alors naturellement entre les deux peuples une osmose culturelle qui immortalisa la vision du monde décrite par les Sumériens. De nombreuses références sumériennes ont ainsi été transmises à la Bible par les Cananéens (Kramer, 1957).

Encadré 2

Les Dieux de Sumer et le Dieu D'Israël

La comparaison de l'acte de création sumérienne avec celui de la Bible fait ressortir de nombreuses similitudes parmi lesquelles se distinguent les versets bibliques suivants:

- Il y a un commencement (Genèse 1, 1),
- Le premier acte est la création du ciel et de la terre (Genèse 1, 1),
- Dieu sépare les eaux d'en bas des eaux d'en haut et crée ainsi le ciel (Genèse 1, 6-8),
- Dieu crée la terre en repoussant les eaux (Genèse 1, 9-10),
- Dieu et les hommes se ressemblent (Genèse 1, 27),
- Leur vie vient d'un souffle associé à de l'argile (Genèse 2, 7),
- Le déluge qui anéantit tout ce qui vit (Genèse 5, 17),
- Les étoiles ont toutes été créées par Dieu et leur nombre est fixé (Job 9, 9 ; Ésaïe 40,26).

Si l'ancien testament raconte l'histoire du peuple d'Israël sur plus de 4000 ans, le christianisme n'a véritablement conquis le monde qu'après la mise à mort et la résurrection de Jésus-Christ. La vie du Christ fut racontée plusieurs décennies après sa mort dans les Évangiles de Matthieu, Marc, Luc et Jean. La religion chrétienne rassembla donc à ses débuts, une assemblée de croyants qui dissémina les enseignements du fils de Dieu. Or la sincérité originelle de beaucoup de chrétiens fut vite remplacée par de viles intrigues et d'insatiables quêtes de pouvoir. L'époque la plus sombre du christianisme fut à bien des égards la période inquisitoriale qui régna dans les villes et les campagnes du Moyen-âge. Les esprits qui s'éloignaient des enseignements de l'église furent emprisonnés, torturés puis, pour certains, brûlés vifs sur le bûcher. Le christianisme devint progressivement un état dictatorial aussi intransigeant qu'impitoyable. Les choses changèrent quelque peu avec l'avènement de la révolution industrielle. Ce bouleversement technologique débuta en 1750 en Grande Bretagne pour s'étendre rapidement au reste de l'Europe et des États-Unis. Cette révolution a provoqué d'importants changements socio-économiques. Les pays qui adoptèrent la révolution industrielle connurent l'essor de leurs centres urbains. Sur le continent américain, des bourgades comme New-York,

Boston et Philadelphie prirent vite des allures de grandes villes. Les migrants venus d'Europe ne cessèrent d'affluer dans les ports pour trouver des terres à cultiver ou du travail dans les usines. Pour beaucoup d'Européens qui vivaient dans la misère, l'Amérique leur apparaissait comme un Eldorado où chacun espérait trouver la fortune. En plus de cette grande aventure humaine, le 18^{ème} siècle fut une époque riche en découvertes scientifiques et techniques. La machine à vapeur transforma tous les secteurs de l'industrie, la métallurgie surtout avec l'exploitation du charbon. Face à cette montée en puissance des sciences et des techniques, l'église se retrouva vite dans l'obligation de se montrer moins intransigente. En 1803, le pasteur anglais William Paley (1743-1805) écrivit dans son ouvrage « *La Théologie Naturelle* » que la science, si elle était bien comprise, n'était pas contradictoire avec la religion (Paley, 1803). En prenant ainsi la science à témoin, William Paley digressa sur l'extraordinaire complexité de l'œil et de conclure qu'un organe aussi compliqué ne pouvait être que la réalisation d'un « *architecte divin* ». Ainsi en 1803, Paley posa les fondements d'une idéologie nouvelle qui fut reprise plus tard, sous les termes de « *dessein intelligent* » par les créationnistes américains. Après la publication du livre de Charles Darwin « *L'origine des espèces* », l'histoire a été riche en échanges entre les défenseurs de l'évolution par la sélection naturelle et ceux qui soutenaient le fixisme des espèces. L'affrontement le plus célèbre se déroula au mois de juin 1860 au Muséum d'Histoire Naturelle de l'Université d'Oxford. Ce congrès eut le mérite de réunir à la fois des personnalités scientifiques favorables à la théorie de Darwin et des théologiens farouchement hostiles à cette vision hérétique de la vie. L'évêque d'Oxford Samuel Wilberforce (1805-1873) participait à cette conférence. Se trouvait aussi dans l'assemblée, le paléontologiste britannique Thomas Huxley (1825-1895) dont la lourde tâche consistait à défendre l'évolution gradualiste mis en avant par Charles Darwin. Du haut de sa tribune, Samuel Wilberforce demanda d'une voix sarcastique à Thomas Huxley « *Est-ce par votre grand-mère ou votre grand-père que vous préférez être apparenté à un singe* ». Huxley de répondre avec une répartie savamment calculée « *qu'il préférerait descendre d'un singe plutôt que d'un homme instruit, qui utilisait sa culture et son éloquence au service du préjugé et du mensonge* ». La guerre était déclarée, une guerre

éternelle dont les interminables discussions ont engendré plus de malheur que de bienfaits. En témoignent les publications de certains scientifiques du début du 20^{ème} siècle au contenu manifestement raciste. À vouloir à tout prix insérer les concepts créationnistes dans le schéma darwinien, ces hommes furent les précurseurs de violents propos ségrégationnistes. Une seule citation écrite par l'anatomiste britannique Grafton Elliot Smith (1871-1937) suffit à décrire cet état d'esprit. Ce dernier déclama dans son essai intitulé « *L'évolution de l'homme* » « *La race la plus primitive qui existe aujourd'hui est certainement la race australienne, qui est une survivance, avec seulement de légères modifications, de ce qui était peut-être le type primitif de l'espèce. Ensuite vient, dans l'ordre, la race nègre, qui est bien postérieure, et par des aspects davantage spécialisée, mais qui partage avec la précédente la pigmentation noire de la peau, attribut primitif de la race humaine. L'homme primitif partage cet attribut avec le gorille et le chimpanzé* » (Smith, 1924). Un an plus tard, le 25 mai 1925, le professeur de biologie John Thomas Scope (1900-1970) fut poursuivi par l'état du Tennessee et sur la demande de la congrégation créationniste pour avoir enseigné l'évolution à ses élèves. Le professeur de biologie fut déclaré coupable et condamné à verser une amende de cent dollars. Épuisé par les interminables procédures judiciaires, Scope décéda la semaine qui suivit son procès. En 2005 de nouveau, le mouvement créationniste tenta d'introduire le dessein intelligent dans les cours de sciences naturelles d'une école publique de l'état de Pennsylvanie. Une tentative de plus qui fut couronnée cette fois par un échec, la justice américaine arguant que cette démarche n'avait rien de scientifique. Réduit à sa plus simple expression, le créationnisme postule que la vie aurait été créée il y a 6000 ans par Dieu. Si les créationnistes reconnaissent que des changements mineurs peuvent parfois apparaître au sein d'une espèce, ils rejettent par contre en bloc l'idée qu'un être vivant puisse se transformer en une créature totalement différente. Pour un créationniste, les reptiles ne peuvent pas être les ancêtres des oiseaux, un lézard restera toujours un lézard et une poule une poule. En partant du principe que le monde est âgé de 6000 ans, les créationnistes ne possèdent de surcroît pas d'autres choix que de concevoir l'histoire de la Terre comme une sorte d'informe puzzle où les dinosaures côtoient l'humanité. Depuis Charles Darwin, les découvertes réalisées en physique et

en biologie ont bouleversé notre façon d'appréhender l'univers. Jusqu'à l'avènement de la théorie de l'évolution des espèces par la sélection naturelle, l'église chrétienne n'avait jamais eu à lutter contre un front intellectuel susceptible de menacer ses fondements. Édité au milieu du 19^{ème} siècle, l'œuvre de Darwin fut la première à désacraliser la position de l'homme dans l'univers en le positionnant sur l'échelle de l'évolution, juste après le singe. Avec la révolution industrielle qui amena l'humanité vers une ère de mécanisation et de profits, l'église perdit peu à peu de sa puissance. Dans le domaine des sciences sociales et économiques très écoutées en cette époque de grands changements sociétaux, le philosophe allemand Karl Marx (1818-1883) déclara même que la religion n'était tout simplement qu'une invention humaine « *l'opium du peuple* » (Marx, 1843). La science devint de la sorte la garante de la vérité. Or en marge des sciences biologiques, les physiciens et les mathématiciens unissent leurs efforts pour percer les mystères du cosmos. Une vision de l'univers cette fois plus codifiée, surgie du monde impersonnel des chiffres.

LE DÉTERMINISME

Qu'est-ce que le déterminisme ? Il existe une multitude de définitions différentes mais toutes s'accordent à dire que l'univers est régi par une succession d'évènements programmés. La définition mathématique du déterminisme s'énonce en ces termes précis : Est-ce que l'état d'un système enregistré à un instant T détermine-t-il son état à tout instant T' ultérieur ? (Douady, 1992). La théorie du déterminisme fut avancée pour la première fois par le mathématicien et physicien français Pierre-Simon de Laplace. Dans son livre intitulé « *Essai philosophique sur les probabilités* », il écrivit : « *Nous devons donc envisager l'état présent de l'Univers comme l'effet de son état antérieur, et comme cause de celui qui va suivre [...].* » (Laplace, 1814). Pour asseoir sa théorie, Laplace s'inspira des travaux d'Isaac Newton (1642-1727) sur la gravité et le mouvement des planètes autour du soleil. Or Laplace doutait que l'intelligence humaine arriva un jour à découvrir et contrôler la totalité des lois qui gouvernent l'univers. Les pensées de Laplace fut reprises par le mathématicien et philosophe français Henri

Poincaré (1854-1912) qui à son tour, se mit à réfléchir sur la destinée de l'univers. À la croisée des 19^{ème} et 20^{ème} siècles, toute une communauté de scientifiques, d'écrivains et de philosophes pensaient que l'humanité s'acheminait vers l'aube d'une ère nouvelle. La science était considérée comme quasi-infaillible, capable de vaincre la misère et les maladies. L'*intelligentsia* du moment cherchait à répondre aux questions : Où sommes-nous ? D'où venons-nous et où allons-nous ? Ce fut dans ce bouillonnement intellectuel que les bases du chaos déterministe furent jetées par Henri Poincaré. Ce dernier écrivit dans son œuvre « *Science et méthode* » (Poincaré, 1908) « *Si nous connaissions exactement les lois de la nature et la situation de l'univers à l'instant initial, nous pourrions prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur* ». En émettant ce postulat, Henri Poincaré se positionnait dans le courant de pensée développé avant lui par Pierre Simon de Laplace. Le chaos déterministe imaginé par Poincaré laissait entendre que du chaos émergeait l'ordre. Ces deux mots *a priori* antinomiques furent pourtant à l'origine d'approches nouvelles en mathématique et en physique. Pour bien saisir le bien fondé de cette antithétique association, il fallut attendre le mois de novembre 1902 lorsqu'à Vienne en Autriche, le physicien Ludwig Boltzmann (1844-1906) prétendit que l'univers n'était pas éternel et que les forces du chaos (entropie) diminuaient à mesure que l'on remontait dans le passé. Boltzmann alla même jusqu'à dire que cette entropie eut pu être égale à zéro au moment de la création, ce qui signifie que c'était l'ordre qui régnait aux premiers instants de l'univers. Le physicien visionnaire n'arriva toutefois pas à imposer ses idées auprès de ses pairs qui le raillèrent et le désavouèrent en public. Déprimé, Boltzmann se suicida le 5 septembre 1906 à l'âge de 62 ans. Après Boltzmann, le plus fervent défenseur du déterminisme fut le mathématicien britannique Alan Turing (1912-1954). Ce dernier passa toute sa vie à démontrer que la nature n'était pas gouvernée par le hasard mais bien au contraire, par un énigmatique langage secret. Sa philosophie : là où se trouve l'information, le hasard n'existe pas. Au cours de la seconde guerre mondiale, Turing fut chargé par le bureau du décryptage britannique de casser les codes que la marine allemande utilisait pour communiquer avec ses sous-marins en mission dans l'océan Atlantique. Turing se concentra sur son travail et après un temps de

tâtonnements où il douta de la faisabilité de sa tâche, le mathématicien parvint finalement à décrypter le code *Enigma* utilisé par l'Amirauté du Reich. La machine qui permit à Alan Turing de casser les codes de la marine allemande fut le premier ordinateur jamais construit par l'homme. Cet homme brillant, inventeur de l'informatique moderne, se donna la mort en 1954 après avoir été condamné par la justice de son pays d'avoir entretenu une relation sexuelle avec un homme. L'ordinateur est donc né du génie de cet homme exceptionnel dont le rêve était de substituer l'ordre au chaos. De nos jours, les ordinateurs prévoient le temps qu'il fera dans une semaine, ils peuvent aussi modéliser la dynamique de l'univers depuis sa création jusqu'à sa fin. Les ordinateurs ne sont d'ailleurs rien de moins que des machines à tuer le hasard, les miroirs de l'ordre si chers à Alan Turing. Les mathématiciens ukrainiens David et Grégory Chudnovsky se sont servis des extraordinaires capacités de calcul des ordinateurs pour tenter de percer les secrets que cachent les décimales de Pi. Le nombre Pi avec son trois suivie d'une infinité de décimales semblerait contenir, à l'intérieur d'une apparente suite hasardeuse, un ordre parfaitement établi (Preston, 1992). Certains mathématiciens avancent même que Pi contiendrait une infinité de séquences numériques dont le tout constituerait une sorte de code (Bogdanov & Bogdanov, 2015). Et qui dit code dit la mise en œuvre de toute une cascade d'actions programmées ; à l'instar du code génétique d'un être vivant qui décide de son anatomie, de sa physiologie et de son comportement. L'informaticien russo-américain Leonid Levin démontra à ce sujet que certaines informations propres au monde mathématique ne puisaient pas leur substance dans le monde réel (Levin, 2002). D'après la pensée déterministe, si l'univers était livré aux seules lois du chaos, il n'aurait tout simplement jamais pu évoluer en un ensemble de structures aussi complexes et organisées. Galilée en son temps pensait que la nature était écrite dans un langage mathématique. « *Le hasard est le plus grand illusionniste de tous les temps* » affirme un proverbe arabe. « *Tout ce qui se produit sur la Terre arrive en son temps* » déclame à son tour la Bible (Ecclésiaste 3,1). Le hasard ne serait-il donc que le produit de notre incapacité à interpréter les équations de l'ordre. Le physiologiste français Claude Bernard (1813-1878) écrit dans son livre « *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* » (Bernard, 1865) que « *les êtres vivants aussi*

bien que dans les corps bruts, les conditions d'existence de tout phénomène sont déterminées d'une manière absolue ». Comme pour apporter plus de poids à son argumentation, Il poursuit plus loin dans son ouvrage « *La négation de cette proposition ne serait rien autre chose que la négation de la science même* ». Pour tenter de démêler les fils de notre savoir indéniablement empêtré dans les écheveaux de la science, de la religion et du déterminisme, je vous invite à prendre le train du temps et de remonter jusqu'aux origines de notre planète. Quatre milliards et demi d'années d'un long et chaotique parcours que je vous invite à découvrir dans toute l'extraordinaire richesse de ses époques géologiques.

CHAPITRE 2

LE PRÉCAMBRIEN

Cette période est à la fois la plus longue et la plus secrète de toutes les époques géologiques (fig.1). Elle s'étend de la formation de la Terre, il y a 4,5 milliards d'années à la fin du protérozoïque [- 543 millions d'années (Ma)]. Notre système solaire s'est formé des suites de l'explosion d'une étoile antérieure à la nôtre ; les produits de sa combustion étant à l'origine de notre soleil actuel et de son cortège planétaire. Sur Terre, sont apparus successivement dans l'océan primitif du Précambrien, les protéines, les acides nucléiques suivis des premières cellules vivantes.

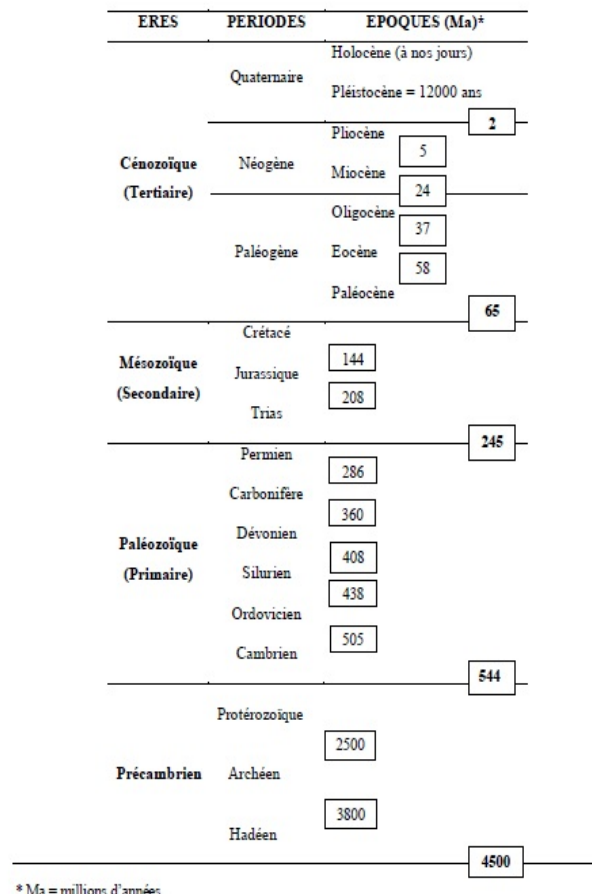


Figure 1 : L'échelle des temps géologiques du Précambrien au Quaternaire

AU COMMENCEMENT

Les premières lignes de la Genèse débutent en ces termes « *Au commencement Dieu créa le ciel et la terre* » (Genèse 1, 1). La science nous apprend de son côté que juste après la naissance du soleil qui a absorbé 99,8% des gaz et des poussières de la nébuleuse primitive, les 0,2% de matière restante se sont condensés par gravité pour former les planètes, les astéroïdes et les comètes. Les collisions fréquentes de la Terre avec les corps errants du système solaire ont libéré suffisamment de chaleur pour que la planète se transforme en une imposante sphère de magma. Les éléments lourds comme le fer et le nickel se sont amassés au centre du globe en constituant le noyau. Le fer liquide contenu à l'intérieur de celui-ci généra quant à lui un champ magnétique possédant le pouvoir de dévier les rayons cosmiques. La chute des températures du magma superficiel entraîna la formation de l'écorce terrestre en dessous de laquelle se trouvent le manteau magmatique et le noyau. Durant les 800 premiers millions d'années de son histoire, la surface de la Terre est donc passée de l'état liquide à l'état solide. Et ce n'est qu'une fois la croûte terrestre formée que l'histoire des ères géologiques débuta véritablement. Les actions mécaniques dues à l'érosion et à la tectonique des plaques ont quasiment détruit toutes les roches antérieures à 3,8 milliards d'années. L'histoire de la Terre n'a donc pu être étudiée qu'à partir de l'Archéen (- 3800 à - 2500 Ma), une époque cruciale pour notre planète dans la mesure où la température de sa surface a commencé à descendre en dessous de celle de l'ébullition de l'eau. Le volcanisme intense à cette époque libéra une quantité colossale de gaz divers. Ce dégazage intensif, riche en molécules d'hydrogène et d'hélium, fut à l'origine de l'atmosphère primitive. Cette dernière fut par la suite enrichie en vapeur d'eau, en azote, ammoniac, hydrogène sulfuré, gaz carbonique et méthane. Puis le temps passa ! La Terre se refroidit jusqu'à ce que la vapeur d'eau accumulée dans son atmosphère retombe sur le sol en pluies diluviennes. D'énormes quantités d'eau arrivèrent aussi de l'espace

avec l'impact de nombreuses comètes. L'océan primordial naquit donc du dégazage des roches magmatiques en vapeur d'eau et de la glace venue des tréfonds de l'espace (Ronald, 1998 ; Shapiro, 1986). Comme si la Bible avait eu accès à ces informations somme toutes assez récentes en science, celle-ci révèle en parlant de Dieu : « *Par sa science les eaux d'en bas ont jailli sur le sol et les nuages ont déversé la pluie* » (Proverbes 3, 20). Mis à part le supercontinent Rodinia, le reste de la planète se trouvait sous les eaux de l'océan Mirovia. Dans son premier livre de la Genèse, la Bible dit de nouveau : « *La terre était comme un grand vide, l'obscurité couvrait l'océan primitif, et le souffle de Dieu agitait la surface de l'eau* » (Genèse 1, 2). « *Dieu dit encore : que les eaux qui sont au-dessous du ciel se rassemblent en un lieu unique pour que les continents paraissent ! Et cela se réalisa. Dieu nomma les continents terre et la masse des eaux mer et il constata que c'était une bonne chose* » (Genèse 1, 9-10). Bien que le livre premier de la Genèse soit anonyme, les traditions juives et chrétiennes prétendent qu'il a été écrit par Moïse. Datant de 1450 à 1410 av. J.C., ce texte a donc vu le jour à la période du bronze moyen. Cette partie de l'histoire des hommes se caractérise par la construction des tumulus funéraires sur l'ensemble du continent européen. Il fut aussi édifié à cette époque l'ensemble mégalithique de Stonehenge situé au sud de l'Angleterre. Ces premiers jalons historiques permettent de mieux saisir l'avant-gardisme des premiers versets de la Genèse. Il y est en effet décrit que la Terre à ses débuts était un grand vide que la science définira plus tard, comme une planète composée de magma en fusion. Il est aussi cité dans la Genèse un océan primitif unique au milieu duquel émerge un continent unique. Ainsi, aux tous premiers instants de la Terre, la Bible et la science racontent la même histoire, si ce n'est que la Genèse a été écrite 3500 ans avant que la géophysique ne décrive les processus de formation et de refroidissement de notre planète.

L'APPARITION DES PROTÉINES

D'un bout à l'autre de la planète s'étend l'océan Mirovia au centre duquel émerge le supercontinent Rodinia. Les eaux et les terres encore chaudes du lent refroidissement de l'écorce terrestre subissent le cuisant rayonnement

du Soleil. Certaines de ces radiations déstabilisent ou rompent les liaisons atomiques qui maintiennent en place les atomes des molécules. Les composés les plus rudimentaires comme le gaz carbonique (CO_2), le méthane (CH_4), l'ammoniac (NH_3), l'hydrogène sulfuré (H_2S), le chlorure de sodium (NaCl) et l'eau (H_2O) se sont donc brisées pour se réarranger en des substances dotées de propriétés nouvelles. Apparurent ainsi dans l'océan primitif les premières substances organiques à l'origine de la vie.

Encadré 3

L'expérience de Miller-Urey

En 1953, le chimiste américain Stanley Miller (1930-2007), alors étudiant du professeur Harold Urey (1883-1981) réalisa une expérience de laboratoire consistant à mélanger dans un appareillage en verre équipé d'électrodes, les composés présumés de l'atmosphère terrestre du début du Précambrien (Miller, & Urey, 1959). À partir de composés aussi simples que le gaz carbonique, le méthane, l'ammoniac, l'eau et l'hydrogène soumis pendant un temps à des arcs électriques (simulant la foudre), Stanley Miller obtint des acides aminés, des sucres, des lipides mais aussi les quatre bases nucléiques formant l'ARN : l'uracile, la cytosine, l'adénine et la guanine. Si les expériences de Miller ont été décisives dans la compréhension de la chimie prébiotique, elles n'expliquèrent cependant pas comment ont été synthétisés les premières enzymes et les premiers systèmes biologiques réplicatifs à base d'ARN et d'ADN

Le fossé s'avère toutefois immense entre l'apparition de simples polypeptides composés et l'extraordinaire complexité des enzymes et des acides ribonucléiques (ARN) ou désoxyribonucléiques (ADN). Pour tenter de combler l'abîme, certains scientifiques émettent l'hypothèse que le premier système héréditaire aurait été fondé sur les protéines (Shapiro, 1986). Les ARN et les ADN seraient en fait apparus plus tard, pour devenir ensuite et assez rapidement le support génétique de toutes les créatures

vivantes. D'autres biologistes affirment au contraire que les protéines et les acides nucléiques auraient été synthétisés en même temps pour s'associer en des structures stables, capables de s'auto-répliquer. Pour construire leur propre structure moléculaire, les protéines puisent dans le stock des vingt acides aminés disponibles sur notre planète. Il est toutefois improbable que la Terre d'il y a 3,5 milliards d'années ait eu à offrir la diversité moléculaire que constituent ces vingt acides aminés. Les scientifiques ne savent de surcroît, toujours pas pourquoi les premières protéines se sont formées à partir de ces vingt acides aminés en particulier alors qu'en laboratoire, les biochimistes sont capables d'en fabriquer des milliers. Les acides aminés se caractérisent par des groupements amine (NH_2) et carboxyle (COOH) ; certains de ces acides aminés évitant le contact de l'eau (hydrophobes) alors que d'autres le recherchent (Hydrophiles). D'après leur séquence en acides aminés, les protéines se définissent à leurs tours, hydrophobes ou hydrophiles, acides ou basiques. Il est aisé de comprendre que face à une aussi grande complexité de comportements biochimiques, une protéine se replie sur elle-même sous l'effet des nombreuses forces électrochimiques qui l'animent. C'est au niveau de leur site actif que se joue la plupart des opérations catalytiques. Dans le cas des enzymes, il s'établit des jonctions entre elles et leurs substrats qui conduisent à la modification de ces derniers. Pour expliquer le commencement de la vie à partir d'un système biochimique composé d'acides gras, d'acides aminés et de quelques protéines simples, le biochimiste soviétique Alexander Ivanovich Oparin (1894-1980) et le généticien anglais John Burdon Sanderson Haldane (1892-1964) imaginèrent dans les années 1920, des sortes de vésicules de gélatine (coacervats) en suspension dans l'eau et contenant en leur intérieur, un colloïde riche en composés organiques (Oparin, 1938 ; Haldane, 1954). En présence d'acides gras, les particules de l'argile montmorillonite déclenchent de même la formation de vésicules lipidiques ressemblant à des « cellules » de petites tailles. Même si ces coacervats sont capables de scissions - dirigées uniquement par des pressions mécaniques -, le problème de cette approche réside dans le fait qu'ils ne transmettent pas d'informations génétiques, donc pas d'hérédité.

L'AVÈNEMENT DES ACIDES NUCLÉIQUES

Une avancée extraordinaire dans l'accession du vivant a été franchie avec la synthèse des acides ribonucléiques (ARN) et des acides désoxyribonucléiques (ADN). La découverte d'ARN pouvant assurer des réactions catalytiques laisserait à penser que les premières molécules auto-répliquatives se soient présentées sous la forme d'ARN. Cette étape au sein de la complexité aurait abouti à une sorte de « vie à ARN », ce dernier assurant à la fois les fonctions de code génétique et d'agent responsable de sa propre réplication. Selon ce modèle désormais admis par de nombreux biologistes, l'océan du début du Précambrien aurait donc contenu des protéines et des ARN, lesquels ARN et protéines auraient trouvé refuge à l'intérieur de vésicules lipidiques. Or, l'instabilité de l'ARN en tant que matériel génétique aurait favorisé la formation de l'ADN dont l'une des principales caractéristiques justement, est de conserver l'information génétique sous une forme bien plus stable que son ancêtre l'ARN. Pour mieux comprendre la complexité de l'ADN, il est nécessaire de décortiquer sa longue chaîne en double hélice. L'ADN est un assemblage compliqué de nucléotides, chacun possédant un radical phosphate, un sucre et une paire de base azotée. Les quatre bases azotées constitutives de l'ADN sont l'adénine (A), la thymine (T), la guanine (G) et la cytosine (C). Pour des raisons chimiques, (A) s'associe toujours à (T) et (G) à (C) (fig. 2). Un gène totalise en moyenne un millier de nucléotides. Ces derniers sont eux-mêmes alignés dans un ordre rigoureux, à la manière des lettres de l'alphabet pour former un mot et les mots rangés les uns après les autres pour composer une phrase. C'est cet ordre précis qui compose l'information génétique. L'ADN contient donc à l'intérieur de sa structure moléculaire, les plans de construction et de fonctionnement de l'organisme. Or l'ADN ne peut pas fonctionner seul, il lui faut un allié pour transporter ses informations vers d'autres endroits de la cellule et en particulier vers les ribosomes où se déroule la synthèse des protéines. Ce vecteur connu sous le nom d'acide ribonucléique messager (ARNm) est en quelque sorte la photocopie de certaines portions d'ADN détentrices du code de fabrication des protéines. Un autre ARN appelé ARN de transfert (ARNt) apporte les acides aminés au ribosome pour faciliter l'assemblage des protéines à partir de l'information génétique contenue dans

l'ARNm. L'une des propriétés les plus extraordinaires de l'ADN est qu'il est capable de s'auto-réplicer pour engendrer une molécule sœur parfaitement identique à l'originale. Cette duplication demande de nombreux précurseurs chimiques, ne serait-ce que pour mener à bien la synthèse des nucléotides.

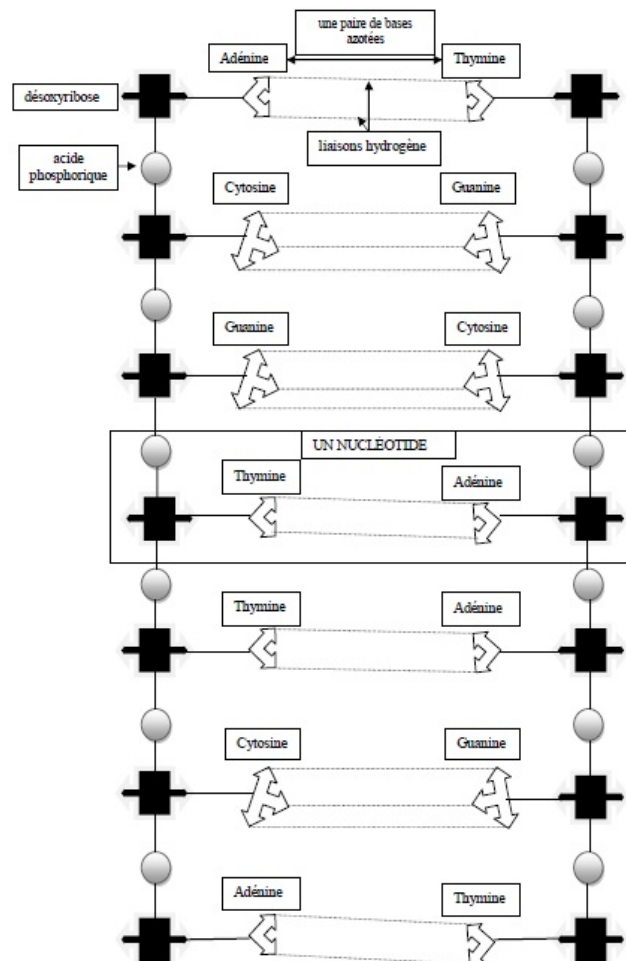


Figure 2 : Structure moléculaire de l'ADN

L'ADN ne peut de surcroît se dupliquer sans l'assistance d'une complexe machinerie enzymatique. Au cours de la réplication, les paires de bases se désappariaient par rupture des liaisons hydrogènes par une enzyme appelée

ADN hélicase. Une fourche de réplication voit alors le jour en formant deux brins distincts. Chacun de ces brins est ensuite copié par des ADN polymérases pour constituer deux nouveaux brins absolument identiques. À ce stade de la réflexion, il est légitime de se poser la question suivante : Comment à partir des éléments aussi simples que ceux qui se trouvent dans l'atmosphère et les eaux de la Terre primitive, des molécules aussi complexes que l'ADN, les ARN et les enzymes ont-elles pu apparaître ? Nous avons déjà vu que le simple fait d'exposer une atmosphère primitive à une source d'énergie permet la synthèse de composés organiques simples. En ce qui concerne les nucléotides qui assurent le rôle de maillons clés dans la formation de l'ADN, ils ont toujours été les grands absents des synthèses pré-biotiques. Quelques acides aminés, des acides, des sucres et des bases azotées, c'est tout ce que la Terre du Précambrien avait pu produire à partir de son réservoir de composés organiques. De même, malgré toute la technologie dont disposent les laboratoires modernes, rien d'aussi compliqué que les nucléotides n'a jamais été synthétisé en soumettant de simples gaz et de l'eau à des arcs électriques. Nous savons maintenant que les nucléotides ne peuvent pas être synthétisés sans l'intervention des enzymes et que les enzymes ne peuvent pas être fabriquées sans ADN. Est-ce donc un ensemble de protéines qui, de par leurs actions combinées, ont réussi à créer les premiers nucléotides et les assembler ensuite en une longue chaîne d'ADN ? Autre chose aussi ! L'ADN est une succession de gènes qui mis bout à bout dans un ordre rigoureux déterminent les caractéristiques morphologiques, anatomiques et physiologiques de l'organisme. Sous quelle impulsion cet ordre a-t-il été établi afin de produire un système viable capable de s'auto-dupliquer ? Si la nature peut exécuter une telle prouesse en matière de chimie organique, les scientifiques du 21^{ème} siècle n'en sont toujours pas capables. Les astronomes américains Fred Hoyle (1915-2001) et Nalin Chandra Wakramasinghe ont estimé que pour obtenir une enzyme par hasard, les chances étaient de une sur 10^{20} , soit une chance sur 100 milliards de milliards. Selon le physicien russe George Gamow (1904-1968), la probabilité pour qu'une molécule d'ADN se soit assemblée par hasard est de cette fois une chance sur $10^{40\ 000}$. Malgré toute son intelligence, l'homme est incapable d'assembler les dizaines de millions d'atomes nécessaires à la construction des gènes qui, eux même, se

succèdent les uns après les autres par dizaines de milliers pour former l'ADN. Pour arriver à un tel résultat de complexité, l'écologiste anglais James Lovelock fonde en 1972 sa théorie selon laquelle il affirme que la Terre est un système intelligent, s'autorégulant, et ayant assuré lui-même la genèse et le développement de la vie (Lovelock, 1995). Un autre concept que nous développerons plus en détail dans les chapitres qui suivent met en avant le caractère déterministe de l'évolution de l'univers. Cette théorie dont les principes fondamentaux avancent que tout est programmé à l'avance est défendue par d'éminents physiciens parmi lesquels adhérerait en son temps, Albert Einstein (1879-1955). Alors pur hasard ou construction déterministe, force est de constater que l'ADN existe bel et bien et que nous ne saurons probablement jamais comment ce dernier a pu apparaître et engendrer aussi rapidement les premières cellules vivantes.

LES CELLULES PROCARYOTES

Les procaryotes furent les premiers organismes unicellulaires à avoir colonisé les eaux, l'air et les milieux terrestres du Précambrien. Selon la classification des microbiologistes américains Carl Richard Woese (1928-2012) et George Edward Fox, les procaryotes se composent des *Archaea* et des *Bacteria* (Woese & Fox, 1977). Les archées et les bactéries ont ceci de particulier que leur ADN n'est pas contenu dans un noyau mais évolue libre dans le cytoplasme. À l'intérieur de ce cytoplasme se trouve aussi un organe cellulaire appelé ribosome dont le rôle essentiel est la synthèse des protéines. Les archées se distinguent des bactéries par un certain nombre de caractères biochimiques distincts, tous localisés au niveau de la membrane cellulaire. Selon l'hypothèse maintenant admise par les biologistes, les bactéries seraient apparues les premières et auraient par la suite engendré les archées et les eucaryotes. Chez les eucaryotes, les cellules possèdent un ADN contenu dans un noyau ainsi que divers organites disséminés dans le cytoplasme. Les trois domaines que constituent les archées, les bactéries et les eucaryotes représentent l'intégralité de la biodiversité rencontrée sur notre planète. Les archées regroupent des micro-organismes très diversifiés dont certains sont connus pour leur capacité à vivre dans des conditions

extrêmes. Elles occupent des niches écologiques souvent délaissées par les autres procaryotes telles les eaux acides de certains lacs d'origine volcanique, les eaux bouillantes des geysers ou les sources hydrothermales situées au fond des océans. En dehors de ces cas extrêmes, il existe aussi une multitude d'archées qui ont colonisés les sols, les fleuves, les lacs, les mers, les océans et même les intestins des animaux. La reproduction des procaryotes est asexuée, c'est-à-dire que leurs cellules se dupliquent par simple scission (clone). Apparus sur Terre un milliard d'années après sa formation, les procaryotes ont dominé le monde pendant deux milliards d'années. Les fossiles des organismes unicellulaires les plus âgés ont été retrouvés dans des roches d'Afrique du sud datant de la période moyenne du Précambrien : l'Archeen (-3800 à -2500 Ma). La température de la surface terrestre étant encore à cette époque relativement élevée, les premières formes de vie s'apparentaient aux micro-organismes qui vivent de nos jours, proches des sources hydrothermales. L'atmosphère primitive ne contenant pas encore d'oxygène, les premiers procaryotes anaérobies n'eurent pas d'autres recours pour survivre que de consommer des composés inorganiques. Ainsi les thiobactéries ingèrent du soufre et du gaz carbonique pour assurer leur activité métabolique. Les ferrobactéries anaérobies se nourrissent de fer, les bactéries et les archées méthanogènes utilisent le dioxyde de carbone (CO_2) contenu dans le milieu ambiant pour l'associer à de l'hydrogène et synthétiser du méthane. Les procaryotes anaérobies ont ainsi proliféré dans les sols et les eaux jusqu'à ce que l'oxygène rejeté par les procaryotes aérobies (cyanobactéries) les oblige à s'isoler. La photosynthèse fait appel à des pigments analogues à la chlorophylle qui se localisent soit dans la membrane cytoplasmique, soit à l'intérieur du cytoplasme des cellules. La photosynthèse permet à ce nouveau type de procaryotes de se nourrir de gaz carbonique, d'eau et de l'énergie lumineuse du soleil pour fabriquer du glucose. Cette réaction chimique rejette de grandes quantités d'oxygène qui finit par s'accumuler dans les eaux et l'atmosphère. Avec la photosynthèse, la vie se dote d'une innovation biologique qui va profondément modifier l'atmosphère terrestre. Alors que le glucose assure, entre autre, la fonction d'accumulateur d'énergie au niveau de la cellule, l'oxygène est rejeté dans l'atmosphère

sous sa forme gazeuse (O_2). Les atomes d'oxygène libres s'allient aux molécules de dioxygène pour former un nouveau composé : l'ozone (O_3) qui alla se placer dans les hautes couches de l'atmosphère. L'ozone absorbe les radiations ultraviolettes du soleil, néfastes pour les cellules dans la mesure où une forte intensité de ces rayons brise les molécules d'ADN. L'oxygène est de surcroît un élément chimiquement réactif qui devient rapidement un poison pour l'ensemble des procaryotes anaérobies. En revanche, pour les organismes aérobies qui se sont progressivement substitués aux cellules anaérobies, l'oxygène devint le moteur de la respiration cellulaire ; cette dernière n'étant rien d'autre que la combustion du glucose par l'oxygène. Au Précambrien, les cyanobactéries se sont regroupées sous la forme de structures appelées stromatolithes. Ils existent encore de nos jours des stromatolithes dans certaines parties du monde, les colonies les plus importantes étant établies en Australie et en Afrique du sud. Les cyanobactéries à l'origine de ces édifices demeurent les fossiles vivants les plus âgés de l'histoire du vivant, ce qui veut dire aussi, que les processus biochimiques qui caractérisent la photosynthèse sont au moins aussi anciens que le Précambrien. Les cyanobactéries ont donc très activement participé à l'installation de la couche d'ozone ainsi qu'à l'enrichissement de la biosphère en oxygène. L'étude des traces fossiles laisse à penser que les procaryotes aérobies photosynthétiques connurent un optimum d'extension et de diversité au cours du Protérozoïque (-2500 à -544 Ma). Les cyanobactéries, tout comme les nombreuses autres bactéries non photosynthétiques appartiennent aux micro-organismes dits autotrophes, c'est-à-dire capables de générer leur propre matière organique à partir de composés inorganiques. Au début de la vie sur Terre, les procaryotes ne possédaient de toute façon pas d'autres alternatives que de se nourrir de composés minéraux dans la mesure où la matière organique était encore trop peu abondante. Sont apparus par la suite les procaryotes hétérotrophes qui purent s'alimenter des substances organiques fabriquées par les cellules autotrophes. Pendant une bonne partie du Précambrien, la surface de la Terre se retrouvait couverte par les eaux d'un océan d'où émergeaient les terres d'un supercontinent unique. Le dioxyde de carbone présent dans les eaux et l'air est dissout par les eaux de pluie pour former de l'acide

carbonique qui à son tour désagrège les roches. En attaquant le socle rocheux, l'acide carbonique libère de nombreux sels minéraux. Une fois dilués dans les eaux de l'océan, ces sels sont consommés par les cellules procaryotes qui dès lors peuvent conquérir l'ensemble des niches écologiques sans avoir à subir de stress nutritionnel. Dans la plupart des documents traitant de l'origine de la vie sur Terre, il est écrit « *les bactéries sont parmi les êtres vivants les plus simples et les plus archaïques* ». Comme si le simple fait de dire que les bactéries sont simples et archaïques expliquait l'origine de la vie sur Terre. La science d'aujourd'hui ne s'explique toujours pas comment les premières cellules procaryotes se sont formées. Bien que rudimentaire en regard de la diversité du vivant qui nous entoure aujourd'hui, les bactéries, aussi primitives soient-elles, témoignent d'un système biologique complexe. Un tel système biologique peut-il n'avoir été créé que par les seules lois du hasard ? Nous savons aujourd'hui que la structure et les fonctions des cellules vivantes sont dépendantes d'un programme génétique dont les instructions sont contenues dans l'ADN. Le génome peut donc être identifié à un programme dont la lecture par les ARN aboutit à la fabrication de toutes les protéines indispensables à la vie. Il existe donc bel et bien chez tous les êtres vivants un déterminisme génétique visant à contrôler l'ensemble de leurs fonctions vitales.

UN BOND DANS LA COMPLÉXITÉ : LES CELLULES EUCARYOTES

Le début du Protérozoïque (-2500 Ma) fut le théâtre d'une immense et nouvelle expérience de la vie : l'apparition des cellules eucaryotes. Le terme eucaryote désigne l'ensemble des organismes unicellulaires et multicellulaires où l'ADN est contenu dans un noyau. Les cellules eucaryotes renferment aussi dans leur cytoplasme des organites cellulaires possédant leur propre ADN (plastides divers, ribosomes et mitochondries). Contrairement aux procaryotes, les eucaryotes sont capables de reproduction sexuée. Cette innovation en matière de survie des espèces permet la transmission du génome des deux parents à leur descendance. La théorie généralement admise sur l'apparition des eucaryotes avance que les mitochondries et les plastides - qui étaient à l'origine des procaryotes

indépendants - ont fusionné avec d'autres cellules procaryotes afin d'entretenir des relations symbiotiques (Margulis & Bermudes, 1985). Le fait que plusieurs organismes tirent un avantage réciproque de leur union date ainsi des premiers âges de la vie sur Terre.

Encadré 4

Les organites cellulaires

Alors que le cytoplasme des cellules végétales contient des mitochondries, des ribosomes et les chloroplastes responsables de la photosynthèse, celui des cellules animales n'abrite que des mitochondries et des ribosomes. À partir du gaz carbonique contenu dans l'air, de l'eau du sol et de l'énergie lumineuse du Soleil, les chloroplastes fabriquent du glucose avec libération d'oxygène. Les mitochondries sont plus spécifiquement impliquées dans les processus de la respiration cellulaire. Les ribosomes jouent un rôle capital dans la cellule car ils assemblent les acides aminés en protéines.

Les strates fossilifères du Protérozoïque révèlent que les eucaryotes pluricellulaires sont apparus assez rapidement dans l'arbre du vivant. Des fossiles de créatures marines datant de 2,1 milliards d'années ont en effet été découverts en 2008 dans la région de Franceville au Gabon (Bouton *et al.*, 2012). L'étude de ces fossiles laisse entrevoir un écosystème marin déjà complexe, composé d'organismes pluricellulaires de formes et de tailles variées. Ils se présentaient sous les formes de boules ou de disques, de grandes oreilles avec une sphère au milieu, de consistance gélatineuse et se développant dans les eaux peu profondes des zones littorales. Les fossiles retrouvés sur le site gabonais firent l'objet d'une description aussi précise grâce à leur état de conservation exceptionnel. L'apparition de créatures multicellulaires à une époque aussi reculée constitue une ascension brutale de la vie vers la complexité. Constitué d'un nombre important de cellules, ce nouveau phylum de la vie sur Terre est apparu 2,4 milliards d'années après la naissance de la Terre. Sachant que notre planète a mis au moins 800

millions d'années pour se refroidir suffisamment pour que l'eau puisse s'y maintenir à l'état liquide, la soustraction est dès lors simple et sans équivoque : Il a fallu 1,6 milliards d'années pour que Mère Nature « fabrique » des créatures eucaryotes suffisamment volumineuses pour laisser des traces fossiles visibles à l'œil nu. Dans le livre de la Genèse, au cinquième jour de la création, Dieu dit « *Que les eaux grouillent d'une foule d'êtres vivants [...]* » (Genèse 1, 20). La Bible précise que ce sont des « *êtres vivants* » au sens général du terme qui grouillent dans les eaux. Une précision d'autant plus pertinente que les paléontologues ignorent toujours si les créatures qui ont laissé leurs empreintes dans les roches du site gabonais appartenaient au règne animal ou végétal ou bien encore, à un règne totalement différent et à jamais disparu.

NOM DE CODE : LUCA

C'est en comparant les ARN ribosomiaux des bactéries, des archées et des eucaryotes que le microbiologiste américain Carl Woese découvrit des similitudes entre ces trois domaines du vivant. Carl Woese en déduisit que les cellules procaryote et eucaryote descendaient d'un même ancêtre qu'il appela Progenote. Preuve était faite que le monde du vivant répondait à une certaine unité. Qu'elles soient procaryotes ou eucaryotes, les cellules sont composées des mêmes molécules, fonctionnent selon la même machinerie de synthèse des protéines, les mêmes structures du code génétique... tout concourt à dire que le vivant dans son ensemble a été construit selon les mêmes plans de fabrication. Ainsi face à autant d'homogénéité biochimique, de nombreux biologistes se sont rassemblés en 1966 pour tenter de donner une réponse à cette uniformité. Après maintes discussions, la communauté scientifique approuva l'idée d'un ancêtre commun à tous les phylums et lui donna même le nom de LUCA pour *Last Universal Common Ancestor* (Forterre *et al.*, 2005). En fait, LUCA n'est rien d'autre qu'une construction intellectuelle qui repose sur les connaissances les plus pointues en matière de protéomique et de génomique. Le développement de ces deux domaines de la biologie moléculaire a d'ailleurs permis d'identifier des protéines universelles identiques à toutes les cellules vivantes. Il apparut toutefois

assez rapidement que le nombre de ces protéines n'excédait pas une centaine. Une grande partie de ces protéines sont impliquées dans des actions de traduction du code génétique pour produire d'autres protéines. LUCA aurait donc possédé, si l'on s'en réfère à ces similitudes protéomiques, un mécanisme de synthèse des protéines déjà très performant. Certaines de ces protéines universelles sont conçues pour se fixer sur des récepteurs membranaires, ce qui laisse à penser que LUCA était une cellule entourée d'une membrane. Tout aurait été parfait dans le meilleur des mondes si ça n'avait été le nombre réduit des protéines universelles impliquées dans les processus de construction de l'ADN. LUCA possédait-il alors un génome à ARN suffisamment fourni en informations pour qu'il puisse synthétiser des protéines complexes ? Cette approche laisse derrière elle une traînée de mystère qui opacifie plus encore la genèse du premier ADN. Quoique la science moderne découvre au fil du temps, l'ADN reste la bête noire des biologistes qui se dérobe et cache ses origines derrière un écran de fumée.

LA GLACIATION VARANGER (-660 à -635 Ma)

Une centaine de millions d'années avant la fin du Précambrien, aurait sévi le plus terrible refroidissement planétaire de tous les temps. Cet épisode appelé « Terre boule de neige » ou glaciation Varanger ne fait cependant pas l'unanimité des communautés scientifiques. Avec l'activité photosynthétique d'un grand nombre d'organismes aquatiques, l'oxygène se retrouva vite sur Terre présent à de fortes concentrations. Si l'on se réfère aux dernières découvertes réalisées dans ce domaine, le taux d'oxygène atmosphérique avant la glaciation Varanger dépassait 30%. Conséquence de cette activité, le gaz carbonique se fit plus rare et fit chuter en retour le rendement de la photosynthèse. La planète se retrouva dès lors ensevelie sous une couche de glace qui la recouvrit presque entièrement. Cette glaciation nous est connue grâce à la présence de moraines déposées sur les sols par les glaciers. Les calottes glaciaires s'étendant jusqu'aux tropiques des deux hémisphères, les aires favorables au maintien de la vie se sont vite retrouvées limitées. Dans les profondeurs océaniques, la température des

eaux dépasse rarement 5°C et la lumière du soleil y étant absente, les micro-organismes photosynthétiques ne peuvent pas s'y développer. Au niveau des dorsales océaniques s'érigent toutefois des formations géologiques en forme de cheminées (fumeurs noirs ou blancs) qui dégagent des flux hydrothermaux extrêmement chauds (de 150 à 350 °C). Les organismes vivants qui se développent près de ces fumeurs exploitent les matières minérales expulsées par les eaux chaudes par le biais de bactéries chimio-synthétisantes capables d'oxyder les sulfures et l'hydrogène sulfuré. Pour fabriquer leur propre matière organique, les bactéries chimio-synthétisantes utilisent l'énergie que dégage l'hydrogène sulfuré de la même façon que le font les cyanobactéries avec le dioxyde carbone. Beaucoup de ces bactéries vivent en symbiose avec des organismes étranges dont le plus connu est le ver tubicole *Riftia pachyptila*. Cet animal dont les tubes peuvent mesurer deux mètres de long ne possède ni bouche, ni anus. Ils sont pourvus de branchies qui leurs permettent de prélever dans le milieu les sels minéraux indispensables à leur survie. Ces sels sont ensuite véhiculés à l'intérieur d'un organe appelé trophosome et à l'intérieur duquel les bactéries chimio-synthétiques utilisent les matières minérales tout en restituant au ver, l'énergie nécessaire pour son métabolisme. En utilisant ce type de symbiose, les créatures telles que celles qui ont été retrouvées près de Franceville au Gabon auraient-elles pu, dans des conditions de vie similaires, survivre à la glaciation Varanger ? Les paléontologistes disent que non, ce qui signifie que la disparition de ces premières créatures pluricellulaires signerait la première grande extinction du vivant (fig. 3).

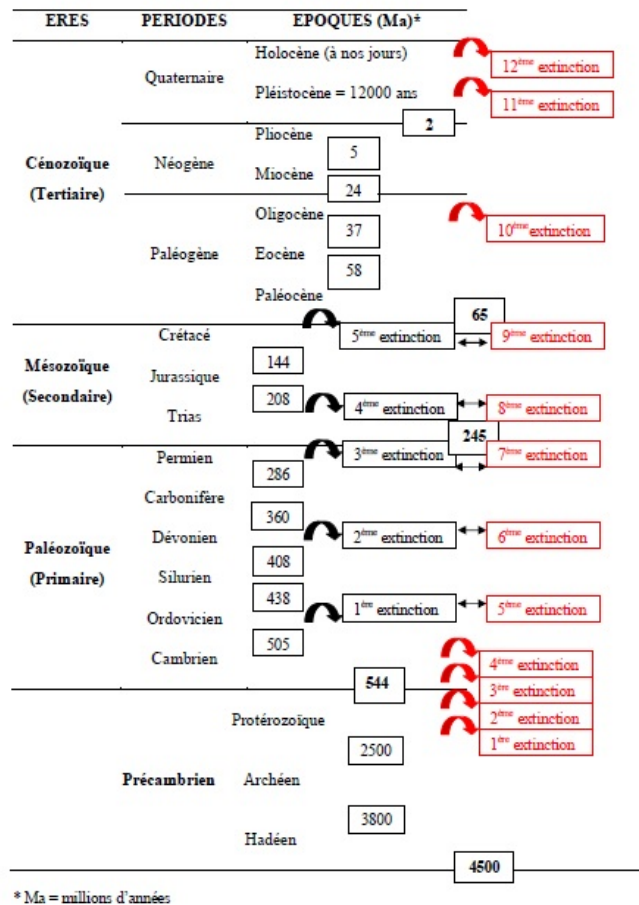


Figure 3: Iconographies conventionnelle (en noir) et révisée (en rouge), des extinctions de masse à travers les époques géologiques. L'iconographie révisée énumère les douze décimations biologiques recensées du Précambrien à nos jours.

Pour ce qui est des procaryotes, nombreuses sont les bactéries qui détiennent la capacité de former des spores lorsque les facteurs environnementaux deviennent défavorables. Selon certains microbiologistes, la longévité des spores de certaines bactéries peut atteindre deux mille ans (Setlow, 1994). Lorsque les conditions redeviennent favorables, la spore germe en donnant de nouveau une forme végétative capable de se multiplier. Les cyanobactéries photosynthétiques peuvent aussi, en cas de stress intense, engendrer des spores incluses dans une

capsule minérale. Dotés d'un mécanisme de conservation aussi efficace, nul doute qu'une kyrielle de procaryotes sporogènes ait pu survivre à la glaciation Varanger en passant par toute une succession de brefs cycles végétatifs entrecoupés de périodes de sporulation beaucoup plus longues.

LA FAUNE D'ÉDIACARA (-600 à -544 Ma.)

La glaciation Varanger impacta si durablement l'activité des micro-organismes photosynthétiques que la teneur en oxygène retomba en dessous de 1,5%. Il semble donc qu'il y ait une relation entre le niveau d'oxygène atmosphérique de nouveau très faible et l'apparition des formes de vie si particulières d'Édiacara. Les premiers fossiles de l'époque édiacarienne furent trouvés en 1868 par le géologue Alexander Murray (1810-1884) dans les collines de la chaîne des Flinders situées dans le sud de l'Australie. De nombreux autres fossiles semblables à ceux d'Édiacara ont par la suite été identifiés sur tous les continents. La plupart des soixante espèces marines recensées au sein de cette faune partagent la même morphologie, à savoir des corps toujours larges et plats. La faune d'Édiacara compte surtout des formes apparentées aux méduses, dont certaines peuvent atteindre un mètre de diamètre ; des éponges aussi, des coraux mous et des vers plats de près d'un mètre de long. Les gisements édiacariens révèlent également une sorte de ver segmenté (*Spriggina*) qui se déplaçait en rampant sur les fonds marins. Certains paléontologues classent *Spriggina* dans l'embranchement des annélides alors que d'autres le rangent plutôt dans celui des arthropodes (Seilacher, 2003). La teneur en oxygène étant inférieure à 2%, les créatures édiacariennes n'avaient pas vraiment d'autres moyens pour survivre que d'augmenter leur surface d'échange avec le milieu ambiant. Le paléontologue allemand Adolph Seilacher (1925-2014) décrivit ces organismes comme des amas de cellules étalés sur les fonds marins, se nourrissant passivement des nutriments contenus dans l'eau. Cette description de créatures larges et plates, gélatineuses n'est pas sans rappeler les disques et les grandes oreilles, gélatineux eux aussi, des premiers organismes retrouvés près de Franceville au Gabon. Se pourrait-il que la faune édiacarienne ne soit en définitive que les lointains descendants des premiers eucaryotes pluricellulaires du Précambrien. Il est également

intéressant de constater qu'à part les similitudes de formes entre les deux phylums, ils ont tous les deux laissé des traces fossiles à des époques géologiques où la teneur en oxygène était au plus bas. Il est désormais admis par les paléontologues que les organismes d'Édiacara ont tous été les acteurs d'une expérience ratée qui disparut définitivement de la surface de la Terre [se profile à l'horizon notre deuxième grande extinction biologique (voir fig.3)]. Une fois la faune d'Édiacara éliminée de la scène du vivant, ne restait plus aux évolutionnistes que d'imaginer la vie repartir de nouveau de zéro pour engendrer au début du Primaire (Cambrien), la plus époustouflante explosion de vie de tous les temps. Tout comme les organismes pluricellulaires du début du Précambrien auraient pu survivre à la glaciation Varanger pour engendrer la faune d'Édiacara, certains organismes édiacariens auraient-ils pu de nouveau résister au temps pour générer les lignées qui ont conquis les mers et les océans du début Primaire (Paléozoïque). Découvrons sans plus attendre cette autre aventure de la vie qui, pour beaucoup de scientifiques, reste l'une des énigmes de l'histoire du vivant la plus difficile à résoudre.

CHAPITRE 3

LE PALÉOZOÏQUE

Le Paléozoïque, plus communément appelé ère Primaire s'est échelonné sur 300 Ma (-554 à -245 Ma). Le Paléozoïque se divise en six périodes qui, chacune, se caractérise par des événements qui ont profondément marqué l'histoire de la vie. Sa limite la plus inférieure (Cambrien) a été le théâtre d'une explosion soudaine des structures anatomiques à l'origine de tous les embranchements connus. Succédèrent à cette explosion cambrienne, cinq autres périodes, l'Ordovicien, le Silurien, le Dévonien, le Carbonifère et le Permien au cours desquels la faune et la flore se sont diversifiées en d'innombrables espèces.

LA FAUNE TOMMOTIENNE DU CAMBRIEN (-530 Ma)

D'après les biologistes, la faune d'Édiacara s'est éteinte sans laisser de descendant. L'océan universel de nouveau vide de vie multicellulaire offrait donc encore une fois une grande diversité de niches écologiques. La faune tommotienne - du nom de Tommot, une ville de Sibérie située à l'est du lac Baïkal où furent exhumés les premiers fossiles - révéla toute une kyrielle d'organismes morphologiquement très variés mais possédant tous une coquille minéralisée (Bengtson, 1977). Comme pour la faune d'Édiacara, ces créatures marines ont tout simplement disparu aussi vite qu'elles sont apparues. Nous sommes de nouveau confrontés à la disparition - la troisième du nombre - de toute une faune (voir fig. 3) née d'aucun ancêtre connu dans la mesure où la faune d'Édiacara avait elle-même disparu sans laisser de descendance. Ces décimations successives remettent en cause la pendule de l'évolution à zéro et posent donc la question de savoir comment la vie est arrivée à surgir à chaque fois de manière aussi brutale sans que l'on retrouve dans les archives fossiles le plus petit organisme de transition. De deux choses l'une, soit il n'existe effectivement aucun organisme de transition entre les différentes faunes, soit nous ne les avons toujours pas découverts. L'exemple le plus significatif se trouve être les organismes pluricellulaires découverts près de Franceville au Gabon. Jusqu'à ce qu'une équipe de géologues ne tombe par *hasard* sur cette faune vieille de 2,1

milliards d'années, la communauté scientifique s'accordait à dire que les premiers organismes multicellulaires dataient de la période d'Édiacara (-600 Ma). Ce vide répété de faunes transitoires dans les archives fossiles s'avère d'autant plus énigmatique qu'entre la faune de Tommot et la suivante plus connue sous le nom d'explosion cambrienne, vingt millions d'années seulement séparent les deux périodes. Allons maintenant découvrir cette incroyable explosion de la biodiversité qui, de l'avis de nombreux paléontologistes, serait née encore une fois... d'aucun ancêtre connu.

L'EXPLOSION CAMBRIENNE (-528 à -510 Ma).

En 1909, le paléontologue américain Charles Doolittle Walcott (1850-1927) organisait une expédition dans les montagnes Rocheuses du Canada où il découvrit sur son chemin, des milliers de fossiles datant du Cambrien. Walcott s'aperçut très vite que la faune qu'il avait trouvé s'avérait non seulement florissante et variée mais montrait, contre toute attente, une étape déjà très avancée de l'évolution animale. Les empreintes laissées dans les schistes de Burgess ressemblent en effet, du moins pour certaines d'entre elles, à nos arthropodes contemporains.

Encadré 5

Les arthropodes

Les arthropodes représentent l'embranchement animal le plus important de la planète. Ils regroupent à eux seuls 1,5 millions d'espèces recensées mais les spécialistes estiment à 20 millions le nombre d'espèces terrestres et aquatiques. Tous les arthropodes sont dotés d'un exosquelette articulé constitué de chitine. Cette enveloppe rigide conduit à une croissance ponctuée de mues au cours desquelles l'animal s'extraît de son exosquelette avant d'en fabriquer un autre. Les arthropodes sont actuellement représentés par les insectes (six pattes), les myriapodes (de 18 à 400 pattes), les arachnides (huit pattes) et les crustacés (de 10 à 14 pattes). Les trilobites aujourd'hui disparus ont été les premiers arthropodes à vivre dans les océans du Paléozoïque (-528 Ma).

Charles Doolittle Walcott en conclut qu'il avait découvert ici, dans les montagnes Rocheuses du Canada, les ancêtres de tous les animaux modernes (Gould, 1989). L'annonce d'une telle découverte ne fut pourtant pas relayée par le monde scientifique, conséquence de quoi, les milliers de fossiles ramassés par Walcott s'en allèrent s'entasser dans les tiroirs du *Simpsonian Institute* où ils furent oubliés pendant près de soixante ans. Dans les années 1960, le paléontologue britannique Harry Blackmore Whittington (1916-2010) réétudia les fossiles de Burgess en accordant une attention toute particulière aux trilobites. Il confia le reste de cette révision à deux de ses étudiants, Simon Conway Morris et Derek Briggs qui, dès lors, réexaminèrent l'ensemble des fossiles avec des méthodes d'investigations plus modernes. À leur grande surprise, ils découvrirent que les plans d'organisation de certains d'entre eux ne correspondaient à aucun animal connu. Morris et Briggs décrivirent plusieurs de ces créatures étranges dans des monographies qui font référence aujourd'hui. Sur les trente espèces décrites, huit d'entre-elles appartiennent à des embranchements disparus. L'étude minutieuse de ces fossiles révéla que 60% de ces animaux détenaient un régime détritivore. Pour la première fois aussi, les paléontologistes eurent à étudier des animaux dont la surface de leur corps était recouverte de parties dures composées de chitine. L'organisme le plus représenté du schiste de Burgess - avec plus de 1300 fossiles ramassés - est *Marella splendens*, un arthropode détritivore désormais éteint et dont l'anatomie proche des trilobites ne semble se rattacher à aucun arthropode connu. En deuxième position par son abondance se positionne le fossile d'un organisme nommé *Canadaspis*, détritivore lui aussi et ancêtre des crustacés. En troisième position (19 spécimens retrouvés) se trouve l'arthropode *Aysheaia* dont certains avancent qu'il serait le lointain ancêtre des myriapodes et des insectes. Se trouve aussi dans les schistes de Burgess un chélicérate carnivore du nom de *Sanctacaris*, ancêtre des limules, des araignées, des scorpions et des acariens. Selon la classification de Briggs et de Morris, *Canadaspis*, *Aysheaia* et *Sanctacaris* représenteraient donc, respectivement, les lignées originelles des crustacés, des insectes/myriapodes et des arachnides. Dans cette faune plutôt hétéroclite du

Cambrien, se trouve aussi *Anomalocaris*, un animal affublé de deux yeux pédonculés et d'une paire d'appendices situés à l'avant d'une bouche circulaire équipée de dents. Malgré ses soixante centimètres de long et sa redoutable anatomie de prédateur, *Anomalocaris* a pourtant été définitivement radié de la liste des espèces vivantes (Briggs, 1979). Je ne vais pas dresser ici l'inventaire complet de la faune de Burgess mais je tiens tout de même à présenter cet étrange ver hérissé de piquants et de tentacules que Simon Conway Morris baptisa *Hallucigenia*. Difficile aussi de passer sous silence les trilobites dont les différentes espèces se sont diversifiées du Cambrien inférieur jusqu'au Permien. Leur capacité à s'enrouler sur eux-mêmes, leur appareil buccal puissant et leurs yeux composés ont fait des trilobites des proies difficiles à surprendre qui ont régné au fond des mers et des océans pendant près de 300 millions d'années. Les trilobites ont probablement été les premiers organismes à avoir un système visuel complexe. L'œil du trilobite se compose en effet de 100 à 15 000 facettes, ce qui signifie que cet animal était capable de percevoir de 100 à 15 000 images simultanément. Cette découverte souligne à quel point l'œil et le cerveau qui analyse l'information était déjà complexe il y a 530 millions d'années. Sur ce sujet sensible en matière d'évolution graduelle, la paléontologiste américain David M. Raup (1933-2015) déclarait « *L'œil du trilobite possédait, il y a 450 millions d'années, une structure que seul un ingénieur en optique, de nos jours, ayant suivi une bonne formation et possédant une compétence très poussée, pourrait concevoir* » (Raup, 1979). Si la remarque de David M Raup fut quelque peu guidée par ses convictions créationnistes, il n'en demeure pas moins que les scientifiques ne s'expliquent toujours pas les mécanismes à l'origine de cette époustouflante explosion biologique.

LES MYSTÈRES DE L'EXPLOSION CAMBRIENNE

Récapitulons les différentes faunes apparues du Précambrien au Cambrien. Les premiers créatures pluricellulaires révélées par les fossiles du Gabon apparurent au Protérozoïque inférieur (-2100 Ma) pour s'éteindre durant la glaciation Varanger. La deuxième explosion de vie multicellulaire

date de la période d'Édiacara (-630 Ma). Les paléontologistes considèrent cette faune comme une expérience à part dans l'histoire du vivant qui ne peut-être à l'origine de la faune suivante dite tommotienne (-530 Ma) ; celle-ci étant elle-même une faune bien distincte de l'explosion cambrienne (-528 Ma). Quatre faunes/flores successives étalées sur 1,6 milliards d'années, quatre apparitions de la vie qui, toutes apparemment, ont recommencé à partir des seuls micro-organismes. Une question se pose face ces apparitions en dents de scie. Comment ces différentes formes de vie ont-elles pu à chaque fois apparaître aussi rapidement, étant donné notre vision gradualiste de l'évolution ? Certains diront que l'océan se trouvait vide de vie, pluricellulaire du moins, et qu'il n'existait pas de pression de sélection susceptible d'entraver l'ascension de ces explosions biologiques. De placer ainsi sur le devant de la scène des niches écologiques dites « vacantes » n'explique en rien ces apparitions de vie pluricellulaires aussi rapides que répétées. Les énigmes du Précambrien et du Cambrien résident surtout dans le fait que des myriades de créatures à l'anatomie complexe sont apparues sans qu'il n'y ait eu de forme intermédiaire entre les différentes explosions. Cette énigme est d'autant plus troublante que le premier animal vertébré est apparu dans le tumulte de l'explosion cambrienne. En 1911, Charles Doolittle Walcott décrivait un organisme d'environ cinq centimètres de long en forme de ruban qu'il nomma *Pikaia gracilens* en l'honneur du Mont Pika où il découvrit les traces fossiles de cet animal. De par sa forme plate et allongée et la segmentation régulière de son corps, Walcott rangea *Pikaia* parmi les vers marins. Simon Conway Morris, dont nous avons vu qu'il avait rédigé de nombreuses monographies sur la faune de Burgess, réétudia les fossiles de *Pikaia* et s'aperçut que ce petit animal n'était en rien un ver mais bel et bien le premier cordé de l'histoire du vivant (Morris & Carron, 2012). Les anneaux que Charles Walcott avait pris pour des segments d'annélides se trouvaient en fait être des bandes musculaires. Il découvrit aussi sur la trentaine de fossiles de cette espèce découverte dans les schistes, une notocorde dorsale rigide caractéristique des cordés. Comme tous les autres embranchements du Cambrien, l'apparition des cordés est d'autant plus énigmatique que les registres fossiles antérieurs à cette période n'en ont jamais fait état. Quoi qu'il en soit, les pièces à conviction parlent d'elles-mêmes, les animaux vertébrés trouveraient leur origine en cette période du

Cambrien vieille de 500 millions d'années. La révision des schistes de Burgess a par ailleurs identifié huit créatures sur les trente répertoriées, où les plans d'organisation anatomique ne correspondent à aucun animal connus. *Anomalocaris* et *Hallucigenia* appartiennent à ces animaux aussitôt nés, aussitôt disparus. *Anomalocaris* était pourtant un féroce carnassier doté d'une organisation anatomique efficace. Alors pourquoi *Anomalocaris* a disparu du monde du vivant et pas *Sanctacaris*, ni le fragile *Aysheaia* dont il fallait qu'il se cache dans les replis des éponges pour se nourrir et échapper à ses prédateurs ? *Anomalocaris* et *Hallucigenia* ne furent pas les seules créatures de la faune du Cambrien à avoir disparues. Beaucoup d'autres ne survécurent pas. Après une phase d'explosion de faune aussi brutale qu'énigmatique, le Cambrien moyen essuya une véritable hécatombe qui participa à l'élimination de nombreux embranchements. Stephen J. Gould (1941-2002) fut le premier à comparer l'évolution à une sorte de loterie planétaire où les gagnants ne sont pas forcément mieux équipés que les perdants. Si *Canadapsis* (l'ancêtre des crustacés) était bien représenté dans la faune de Burgess, ce ne fut guère le cas d'*Aysheaia* (l'ancêtre des insectes et des myriapodes) dont il ne fut retrouvé que dix-neuf spécimens. Que dire alors de *Sanctacaris* (l'ancêtre des arachnides) dont il n'existe que douze spécimens. Pourquoi ces deux derniers sous-embranchements exhumés en si faible nombre ont-ils été les heureux gagnants de la loterie et pas les autres plans d'organisation numériquement plus nombreux ? Pour Stephen J. Gould, les différences morphologiques et anatomiques ne déterminent pas à elles seules les chances de survie d'une espèce (Gould, 1989). Cette remarque génère plus de questions que de réponses ! Qu'est-ce qui a bien pu amener sur la scène du vivant les quatre formes de vie qui sont apparues du Précambrien au Cambrien ? La science n'explique rien de ces apparitions soudaines. La thèse déterministe avance quant à elle que l'évolution de la Terre et de ses différentes formes de vie est inscrite dans le temps. Une approche singulièrement très proche de celle prônée par la Bible selon laquelle Dieu aurait depuis le début parfait sa création (Jean 1, 1-3 ; Proverbes 8, 23). Quoi qu'il en soit, le temps des grandes innovations biologiques a pris fin avec le Cambrien. La vie n'aura de cesse par la suite de se concentrer sur la diversité des formes anatomiques ayant survécu à cette quatrième extinction de masse (voir fig. 3).

L'ORDOVICIEN (-505 à -438 Ma) : LA SORTIE DES EAUX

La période ordovicienne s'est caractérisée par une forte diversification des phylums ayant survécu à l'extinction cambrienne. Ainsi les coquillages bivalves firent leur apparition en même temps que leurs pires ennemis, les étoiles de mer. Apparurent aussi toute une kyrielle d'autres animaux comme les oursins, les lys de mer, les escargots et des espèces nouvelles de crustacés et de trilobites. Ce fut aussi pendant l'Ordovicien que les récifs coralliens proliférèrent jusqu'à occuper la presque totalité des fonds marins. Les coraux se sont ainsi accumulés pendant des millions d'années sur des centaines de mètres de dépôts calcaires. La plupart des animaux de l'Ordovicien, qu'ils soient mobiles ou immobiles, se nourrissaient des particules organiques contenues dans les eaux et les sédiments. Cette faune détritivore aussi abondante que variée subissait la traque de prédateurs redoutables, à l'exemple du céphalopode *Orthoceras* dont la longue coquille atteignait quatre mètres de long. Un autre prédateur ressemblant à un scorpion écumait lui aussi les eaux de l'océan à la recherche de proies faciles. Furent retrouvés également dans les strates géologiques de l'Ordovicien, les fossiles des premiers poissons cuirassés. Dans un océan peuplé d'invertébrés dont les ancêtres étaient ceux-là-même qui survécurent à la décimation du Cambrien, les vertébrés de même ne pouvaient descendre que du *Pikaia gracilens* décrit par Simon Conway Morris. Le deuxième chapitre de l'évolution des vertébrés débuta avec *Arandaspis prionotolepis*, un poisson sans mâchoire de quinze centimètres de long (Ritchie, 1977). Sa bouche édentée dirigée vers le bas aspirait les sédiments marins. Ne possédant pas de nageoire latérale lui permettant de fuir les prédateurs, ce poisson a assuré sa survie en se dotant d'un bouclier osseux. L'Ordovicien a donc été une époque où la vie prenait tournant nouveaux. L'Ordovicien, ce fut aussi l'époque où la vie a commencé à se hisser à l'air libre. Imaginons un instant des continents de roches nues sillonnés d'une myriade de rivières et de fleuves. Roche nues ? Pas si sûr, car bien avant que la vie multicellulaire ne s'extirpât de la mer pour coloniser la roche, de nombreux micro-organismes avaient déjà très certainement investi le milieu terrestre. Les premières plantes qui émergèrent de la mer eurent d'abord à s'adapter à

leur nouvel habitat, aérien cette fois. Une fois la barrière environnementale franchie, elles trouvèrent sur la terre ferme des concentrations en sels minéraux de loin supérieures à celles contenues dans l'eau de mer. Plus de sels minéraux, de la lumière et de l'eau douce à profusion ; des conditions de vie nouvelles qui permirent à de nombreuses algues, mousses, hépatiques et champignons de croître et de s'étendre le long des cordons littoraux. Les champignons particulièrement actifs dans l'assimilation des sels minéraux emprisonnèrent dans leur trame mycélienne des algues unicellulaires photosynthétiques. S'établit très vite entre les deux organismes une symbiose où le champignon fournit à l'algue les minéraux et l'eau indispensables à sa survie. En retour, l'algue livre au champignon le produit de sa photosynthèse, à savoir le glucose qui, en se polymérisant se transforme en cellulose. La symbiose née de l'union entre un champignon et une algue donne naissance à un organisme nouveau appelé lichen. Ces plantes désormais nanties de la nature invasive des champignons et de la capacité des algues à exploiter la lumière solaire vont faire des lichens des organismes pionniers, capables d'investir la plupart des milieux terrestres. Le troisième jour de sa création du monde, Dieu dit « *Que la terre se couvre de verdure : des plantes produisant leur semence [...] et cela se réalisa. La terre fit pousser de la verdure : des plantes produisant leur semence espèce par espèce* (Genèse 1, 11-13). Il est intéressant de constater que le texte de la Genèse aborde ici la notion de pluralité des espèces et donc, de la diversité du monde végétal au moment même où celui-ci commença à coloniser les espaces terrestres. Cette expansion n'aurait d'ailleurs pas eu de raison de s'arrêter en si bon chemin si l'ordovicien supérieur (-445 Ma) n'avait pas été frappé d'une crise biologique (la cinquième du nom) qui causa la décimation des deux-tiers des espèces existantes (voir fig. 3). La baisse du niveau des mers consécutive à une glaciation de forte intensité aurait été la responsable de cette hécatombe (Finnegan *et al.*, 2011). Si la faune corallienne fut la plus durement affectée par cette glaciation, elle toucha aussi l'ensemble des invertébrés. Or contrairement à la crise biologique du Cambrien, l'extinction qui affecta l'Ordovicien ne provoqua la disparition d'aucun embranchement.

DU SILURIEN AU DÉVONIEN (-438 à -360 Ma)

Si la vie commença à se propager les continents de l'époque ordovicienne, le Silurien et le Dévonien virent quant à eux, l'installation de véritables faunes et flores terrestre. Dès le début du Silurien, la biodiversité marine très appauvrie par la crise de l'Ordovicien retrouva sa richesse d'antan. Sur les dépôts calcaires des récifs coralliens morts pullulèrent de nouveaux des madrépores, des mollusques, des crustacés, des crinoïdes et des trilobites. Les seuls vertébrés présents appartenaient au groupe des poissons sans mâchoire dont la tête et le corps disparaissaient sous d'impressionnantes cuirasses osseuses. Ces poissons évoluèrent assez rapidement en espèces tout aussi lourdement cuirassés mais dotés de mâchoires armées de dents osseuses. Certains de ces poissons mesuraient huit mètres de long et pesaient plusieurs centaines de kilos. Sur la terre ferme, les plantes purent par l'intermédiaire de la photosynthèse et de la richesse en eau des sols fabriquer du glucose dont les excédents se sont transformés en cellulose, amidon et mucilage. La végétation se développa préférentiellement dans les zones humides proches des fleuves, des lacs et des lagunes. Les fougères et les prêles recouvrirent les sols marécageux. D'immenses forêts pluviales, vides et silencieuses couvrirent de vastes superficies. Une végétation luxuriante, inextricable, étouffante et sombre. Pas d'autre bruit dans la forêt que le vent qui gémissait entre les branches écailleuses. Les gisements du Dévonien (-408 Ma) révèlent des arthropodes de petites tailles parmi lesquels sont identifiés des myriapodes, des arachnides, des cloportes (crustacés) et des insectes appartenant à la classe des collemboles. Tous ces arthropodes inféodés aux sols humides se nourrissaient d'animalcules ou de matière organique en décomposition. La cellulose et la lignine ne pouvant être dégradées que par certains micro-organismes du sol, insectes et bactéries s'allièrent en des symbioses durables. L'ascension fulgurante des arthropodes résida aussi dans le fait que leur corps s'était entouré d'une enveloppe robuste et élastique : la chitine. Sans chitine, les arthropodes auraient été vulnérables et sujets à une forte déperdition en eau. Nous l'avons vu dans les chapitres précédents, la chitine remonte aux origines de la vie sur Terre. Les fossiles découverts dans les schistes de Burgess montrent que les premiers arthropodes du Cambrien (-500 Ma) possédaient déjà un exosquelette en chitine. Les développements des flores terrestres de la fin du Dévonien se sont mis à

produire des quantités si importantes de matière organique que les teneurs en gaz carbonique et en oxygène de l'atmosphère en furent profondément modifiées. L'apport massif d'oxygène dans l'atmosphère a favorisé l'apparition des premiers tétrapodes, le plus connu d'entre eux étant *Ichthyostega*. L'animal mesurait un mètre de long pour un poids de quatre-vingt kilos. Il possédait une tête large et aplatie qui ressemblait beaucoup à celle des poissons primitifs. La taille et la forme de certains os du crâne, la position des yeux ainsi que la tenue de l'animal sur ses quatre pattes annonçaient le règne des amphibiens. La vie prospéra ainsi dans les océans et sur la terre lorsqu'une sixième extinction biologique frappa la fin du Dévonien (voir fig. 3). Cette crise atteignit plus les communautés marines que terrestres. Il semble aussi que les espèces marines prospérant dans les eaux chaudes aient été les plus durement décimées, ce qui suggère un épisode global de refroidissement planétaire (Carmichael *et al.*, 2014).

UNE HISTOIRE DE CÔNES DE LA BIODIVERSITÉ

Avec un recul de 3,4 milliards d'années, nous pouvons désormais mieux appréhender l'histoire du vivant. L'iconographie traditionnelle du cône selon laquelle la diversité s'est faite croissante dans le temps est toujours bien ancrée dans la pensée scientifique (fig. 4a). Pour Charles Darwin, l'évolution du vivant est due à la sélection naturelle. Les mutations que confèrent ces pressions de sélection « fabriquent » des lignées toujours mieux adaptées à leur environnement, capables de vivre plus longtemps et donc de transmettre plus efficacement les gènes mutés à leur descendance. La révision de la faune de Burgess a quelque peu bousculé cette vision de la diversité croissante du monde du vivant. Sur les trente espèces décrites de cette faune, huit d'entre-elles ne présentaient aucune similitude anatomique avec les espèces modernes. Pourquoi huit de ces embranchements ont-ils disparus ? Stephen J Gould prétend que cette décimation n'est absolument pas liée à des déficiences anatomiques. Selon lui, *Anomalocaris* possédait autant de chance de survie que le fragile *Aysheaia* ou bien encore que *Canadaspis* ou *Sanctacaris*. Si la période cambrienne laisse entrevoir un arbre de la biodiversité décroissante avec le temps (fig. 4b), il n'en reste pas moins vrai que les motifs de ces disparitions demeurent un mystère.

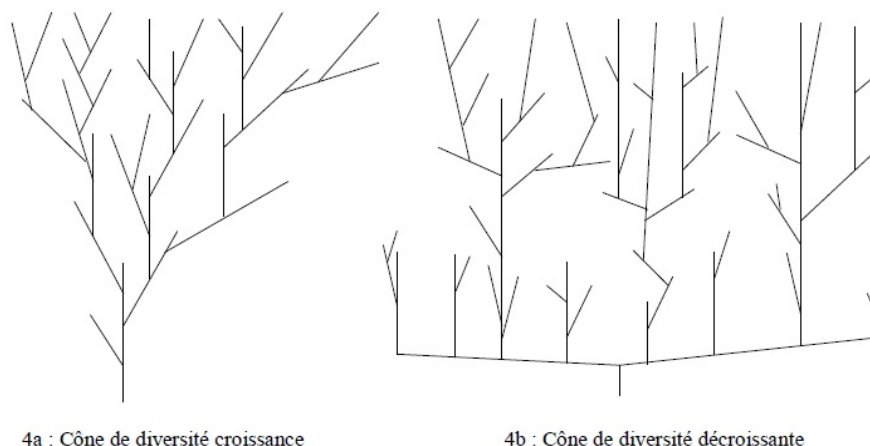


Figure 4 : Iconographie du cône de diversité croissante (4a) et du modèle révisé du cône de diversité décroissante (4b).

Pour fournir un début de réponse à cette extinction cambrienne, il nous est nécessaire d'aborder le problème sous un angle qui ne prend pas seulement en compte les caractéristiques anatomiques mais aussi l'ensemble des caractères associés au métabolisme et au comportement des communautés animales. Si les traits anatomiques des fossiles peuvent être dessinés, les paléontologistes ne peuvent au contraire qu'extrapoler le métabolisme des créatures disparues à partir de groupes vivants connus. L'anatomie, le métabolisme et le comportement propres à chaque espèce constituent un ensemble de paramètres biologiques menant à une évolution différentielle des espèces. Prenons par exemple deux groupes d'organismes dont les caractéristiques anatomiques ne défavorisent apparemment, ni l'un, ni l'autre des deux ensembles. Le premier groupe se trouve néanmoins capable de survivre dans un environnement pauvre en nourriture alors que le deuxième groupe ne le peut pas. Dans ces conditions, et à caractéristiques anatomiques équivalentes, il est certain que les animaux qui se contentent de peu pour assurer leurs fonctions métaboliques seront ceux qui survivront à la crise alimentaire.

Encadré 6

Un exemple d'évolution différentielle

Pour illustrer cette notion de ressources alimentaires contenues dans les milieux et de la capacité de certains organismes à mieux exploiter la nourriture que d'autres, nous allons nous intéresser à la biologie des moustiques *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus*. Ces deux diptères font partis des tueurs en séries les plus actifs de la planète en transmettant à l'homme des virus pathogènes aussi dangereux que la dengue, le chikungunya, le zika ou bien encore la fièvre jaune. Le cycle biologique des moustiques se caractérise par une phase larvaire qui se déroule dans l'eau (œuf, larve et nymphe) et une phase aérienne (adulte ailé) durant laquelle les mâles et les femelles se nourrissent de sucres végétaux ; seules les femelles se gorgent de sang. La compétition entre ces deux espèces de moustiques - somme toute assez semblable dans leur morphologie, anatomie et comportement alimentaire de leurs larves - avantage presque toujours sur le terrain la prolifération d'*Ae. albopictus* au détriment de celle d'*Ae. aegypti*. Des recherches menées en laboratoire ont révélé que pour assurer leur croissance jusqu'à l'adulte, les larves d'*Ae. albopictus* avaient besoin de deux fois moins de nourriture que celles d'*Ae. aegypti* (Darriet, 2016). Ainsi, *Ae. albopictus* peut se développer dans des collections d'eau pauvres en matière organique où *Ae. aegypti* ne peut survivre que difficilement. Les performances exceptionnelles d'*Ae. albopictus* en matière d'exploitation trophiques des milieux expliquerait donc, en partie, le caractère invasif de ce moustique ainsi que la disparition progressive de son concurrent *Ae. aegypti* dans les régions du monde où ces deux espèces cohabitent.

Les créatures disparues du Cambrien ont probablement été de celles qui n'ont pas pu exploiter, durablement, le milieu qui les abritait. La concurrence alimentaire entre plusieurs communautés animales amène donc à la prolifération des espèces les plus compétitives, aggravant du même coup la situation des espèces déjà menacées. Cette inégalité à exploiter les ressources nutritionnelles des milieux a entraîné le monde vivant dans un

goulet d'étranglement qui explique le cône de la diversité décroissante (fig. 4b). S'ajoute à cette diversité paradoxalement génératrice d'érosion biologique, les phénomènes d'extinctions physiques générés les chutes de météorites, les périodes glaciaires ou bien encore les épisodes de volcanisme intense. Pendant les périodes géologiques calmes, l'évolution répond à l'appel de la sélection naturelle qui donne aux variants les mieux adaptés une plus grande chance de se reproduire et de survivre. En revanche, pendant les périodes d'extinctions massives générées par un événement brutal, la vie ne se trouve plus régulée par la sélection naturelle mais par une force aveugle qui détruit tout au hasard. La fameuse loterie de Stephen J Gould qui, selon lui, exerce des pressions sur le monde du vivant qui s'opposent aux forces graduelles de la sélection naturelle.

L'ENFER VERT DU CARBONIFÈRE (-360 à -286 Ma)

L'extinction de masse du Dévonien ayant principalement affecté la faune et la flore des océans, l'évolution des espèces terrestres continua son ascension vers la diversité. Les raisons de ce foisonnement s'expliquent par l'établissement d'un climat tropical sur l'ensemble de la planète. Les plaines aux sols gorgés d'eau favorisèrent l'installation de vastes forêts marécageuses. Le ciel menaçant au dessus des lépidodendrons, sigillaires et calamodendrons charriait des nuages lourds de pluie tandis que dans les sous-bois vibrait une atmosphère chaude et humide. Des forêts sombres, d'un vert uniforme où vivait et s'entredévorerait une légion d'arthropodes géants et d'amphibiens patauds. Pour les arthropodes, le record de taille fut détenu par un mille-pattes du nom d'*Arthropleura*. Ce myriapode long de trois mètres se nourrissait des plantes et du bois mort jonchant le sol des forêts. Les scorpions et les araignées parcouraient les sous-bois à la recherche de proies tandis que les insectes grouillaient dans les sols et les souches pourries. Dans les airs vrombissait une libellule dont l'envergure des ailes avoisinait soixante centimètres. *Meganeura* - tel est le nom de cette libellule géante - chassait des proies aussi grosses que des blattes. Le gigantisme affiché par les arthropodes du Carbonifère s'expliquerait par la quasi-absence de prédateur, une nourriture abondante et un taux en dioxygène atmosphérique proche de 30% (au lieu des 21% actuels). Cette

teneur élevée en oxygène résulte de la forte activité photosynthétique des forêts marécageuses. Inversement, le gaz carbonique puisé dans l'atmosphère pour fabriquer la cellulose des plantes va subir un enfouissement progressif mais massif. Les strates successives de matières végétales vont s'empiler les unes sur les autres sur des centaines de mètres et produire, quelques centaines de millions d'années plus tard, les gisements de houille. Si le Carbonifère est l'époque des forêts grouillantes d'arthropodes géants, il a vu naître aussi et s'épanouir la classe des amphibiens. Comme leur ancêtre *Ichthyostega* apparu au Dévonien supérieur, les amphibiens du Carbonifère se déplaçaient pataudement sur leurs membres courts. Leur colonne vertébrale encore fragile ne supportait que difficilement leur énorme corps. À la fin du Carbonifère apparurent aussi les premiers reptiles, moins dépendants des milieux aquatiques dans la mesure ils pouvaient pondre leurs œufs à même le sol et non plus obligatoirement dans l'eau comme les amphibiens. La plus grande avancée évolutive qui accompagna les reptiles fut sans contexte l'apparition de l'œuf amniotique (Lévêque & Mounolou, 2008). Pourvu d'une coquille protectrice, l'œuf amniotique possède des réserves nutritives qui permettent à l'embryon de se développer sans manquer de nourriture. La plus grande autonomie terrestre des reptiles doublée de leur capacité à pondre pas forcément à proximité des plans d'eau les amenèrent vers un succès évolutif qui s'échelonna sur des centaines de millions d'années. Si la vie sur terre connut une évolution rapide, la vie marine en revanche changea peu. Les poissons cuirassés disparurent totalement en cédant leurs places aux poissons cartilagineux et osseux. Ne restaient plus aussi que quatre espèces de trilobites. Le Carbonifère supérieur connut également des soulèvements importants qui donnèrent naissance aux premières montagnes des Alpes et des Rocheuses. Ces bouleversements géologiques amenèrent avec eux de sévères changements climatiques. La chaleur humide qui baignait la Pangée fut remplacée, surtout à l'intérieur du continent, par des épisodes saisonniers alternant saisons humides et saisons sèches. Les forêts marécageuses disparurent progressivement au profit de massifs forestiers composés d'arbres à aiguilles (gymnospermes) plus résistants au froid et à la sécheresse. Ainsi s'annonçait une nouvelle période, le Permien, au climat sec et aux terres plus arides.

LA GRANDE HÉCATOMBE DU PERMIEN (-286 à -245Ma)

Le terme Permien vient de la ville de Perm en Russie où se situe l'un des plus importants gisements fossilifères de cette époque. Les changements climatiques amorcés à la fin du Carbonifère s'intensifièrent pendant les 41 millions d'années que dura le Permien. Les saisons s'accrochèrent à mesure que le temps passait. En une journée, la température passait de 0 à 40°C. Si des lambeaux de forêts marécageuses subsistaient encore à la périphérie des mers intérieures de la Pangée, le reste du continent subissait un climat uniformément aride. La destruction des forêts pluviales entraîna l'extinction du myriapode géant *Arthropleura* et de la libellule *Meganeura*. Si bon nombre d'espèces adaptées aux milieux humides s'éteignirent, le Permien vit en revanche apparaître toute une cohorte de reptiles aux formes étranges. Cette période se caractérisa surtout par l'apparition puis l'accroissement des populations de reptiles mammaliens. Certains représentants de ce groupe - à l'exemple du cynodonte - étaient couverts de poils. La fonction d'auto-régulation de la température (homothermie) semble avoir fait aussi son apparition avec les reptiles mammaliens du Permien. Cette époque connut par ailleurs des évolutions biologiques innovantes, comme la bipédie saurienne ainsi que l'apparition des premiers vertébrés volants. Pour se déplacer d'arbre en arbre, un petit reptile arboricole était pourvu de deux membranes localisées de chaque côté du corps. Des sauriens plus imposants développèrent des voiles dorsales dont les surfaces intensément vascularisées assuraient la fonction d'échangeurs thermiques. Les océans se peuplèrent aussi de redoutables reptiles marins. Avec cette énumération rapide et évidemment non-exhaustive de la faune du Permien, il n'est pas difficile de comprendre que cette période fut l'antichambre de la fulgurante ascension du règne des dinosaures. Mais avant de nous intéresser à la plus extraordinaire odyssée du gigantisme animal, la fin du Permien (- 225 Ma) connut une septième extinction qui décima 95 % de la vie marine et plus de 70 % des espèces terrestres. Les trilobites déjà affaiblis par l'extinction du Dévonien ne survécurent pas à cette nouvelle crise. Cette décimation majeure du vivant fut attribuée à une période de réchauffement climatique sans précédent, probablement due à une activité volcanique intense

accompagnée d'émissions massives de gaz carbonique et de méthane dans l'atmosphère (Ogden and Sleep, 2012).

CHAPITRE 4

LE MÉSOZOÏQUE

Le Mésozoïque ou ère Secondaire (-245 à -65 Ma) se trouve pris en étau entre les deux plus sévères extinctions de masse que notre planète ait jamais eu à affronter : la crise du Permien-Trias et celle du Crétacé-Tertiaire. Les trois périodes qui composent cette ère - le Trias, le Jurassique et le Crétacé - sont décrites dans les livres d'histoire pour avoir été le théâtre de l'essor et de la mort des dinosaures. Si le Précambrien et le Paléozoïque évoquent la préhistoire de la vie sur Terre, le Mésozoïque en représente le Moyen-âge. Le Mésozoïque, c'est aussi une ère d'expérimentations biologiques dont les innovations les plus abouties ont traversé le temps jusqu'à notre époque moderne.

UN MONDE DE REPTILES

L'écorce terrestre se compose de plusieurs plaques mobiles qui se frottent et se chevauchent les unes sur les autres. Le moteur de ces mouvements est alimenté par les courants de convection du magma à l'intérieur du manteau terrestre. Sous l'action de ces forces - dites tectonique des plaques -, le supercontinent Rodinia s'est fragmenté pour s'agréger de nouveau en un autre supercontinent appelé la Pangée. Au cours des 180 millions d'années qu'a duré le Secondaire, la Pangée s'est divisée à son tour en deux continents distincts : la Laurasia au nord et le Gondwana au sud. Une activité volcanique intense accompagna cette dislocation de la Pangée avec des émissions importantes de gaz carbonique et de vapeur d'eau. Au début du Trias (-245 à -208 Ma), les tétrapodes se composaient essentiellement des amphibiens et des reptiles mammaliens. Les œufs mous et gélatineux des amphibiens ne pouvaient être déposés que dans l'eau. L'apparition de l'œuf amniotique chez les reptiles put par contre briser cette dépendance à l'eau. Le plus connu des reptiles mammaliens est sans contexte le *Cynodonte* dont la femelle pondait ses œufs dans un terrier et allaitait ses petits. Tandis qu'une lignée bien distincte de reptiles mammaliens évolua vers la classe des mammifères, les autres espèces de ce groupe disparurent toutes à la fin du Trias. Les causes de cette crise restent encore mal connues,

toutefois cette huitième extinction a coïncidé avec une période de forte activité volcanique (Ruhl *et al.*, 2011). La diversité biologique régressa de moitié, ce qui permit aux dinosaures de coloniser les niches écologiques laissées vacantes par les faunes antérieures. Le Trias fit place au Jurassique (-208 à -144 Ma) célèbre pour ses dinosaures. Les dinosaures les plus impressionnants (sauropodes) possédaient une petite tête soutenue par un long cou. Quatre membres robustes portaient leur corps massif qui lui même se prolongeait par une queue longue et mobile. Le sauropode le plus connu est le *Diplodocus*. Le *Brachiosaure* représente quant à lui l'animal terrestre le plus long et le plus lourd que notre planète n'ait jamais porté. Il mesurait vingt-cinq mètres de long, douze de haut et pesait pas moins de trente tonnes. Les zoologues estiment que des animaux aussi volumineux auraient eu bien du mal à survivre sans engloutir l'équivalent d'une demi-tonne de fourrage par jour. Or la faiblesse de leurs dents autant que la petitesse de leur crâne ne leurs permettaient pas d'ingurgiter de telles quantités de nourriture. D'autant que la matière végétale se compose en grande partie de cellulose, un polymère du glucose que le règne animal dans son ensemble a beaucoup de mal à digérer. Seules certaines bactéries et champignons sont armés du bagage enzymatique adéquat pour dégrader la cellulose en glucose. Au Dévonien déjà, les insectes entretenaient des relations symbiotiques avec des bactéries capables de digérer la cellulose. Des symbioses similaires existent encore de nos jours chez de nombreux insectes, l'exemple le plus connu étant celui des termites qui s'installent et se nourrissent des huisseries et des charpentes de nos maisons. De telles symbioses se déroulent aussi dans le système digestif de nombreux herbivores contemporains. Face à l'universalité apparente de ce type d'association, il est fort probable que les dinosaures aient eu eux aussi abrité dans leur tube digestif des bactéries capables de dégrader la cellulose.

Plus rapides et plus féroces que leurs cousins végétariens, les dinosaures carnivores ont régné en maîtres sur les paysages du Jurassique et du Crétacé. Contrairement aux sauropodes qui se déplaçaient nonchalamment sur leurs quatre pattes, les carnosaures couraient sur leurs deux pattes postérieures, leur épaisse et longue queue leur servant de balancier. Le plus impressionnant des carnosaures fut *Tyrannosaurus rex*, une créature bipède

qui vécut à la fin du Crétacé (-68 et -65 Ma). Il mesurait douze à quatorze mètres de long, cinq à six mètres de hauteur pour un poids de sept tonnes. Nous ne pouvons pas clôturer ce paragraphe sur ces impitoyables prédateurs du Jurassique sans parler du célèbre *Vélociraptor* mis en image dans le film « Jurassic Park » de Steven Spielberg. Le *Vélociraptor* était un prédateur habile à la chasse, se déplaçant vite et en meute à la poursuite de sa proie. Des études récentes confirment que ce dinosaure avait des plumes sur le corps. La preuve en a été apportée par un fossile de cubitus découvert en Mongolie en 1988 et ayant appartenu à un *Vélociraptor* qui vivait à la fin du Crétacé (Turner *et al.*, 2007). Parmi les autres dinosaures terrestres, citons entre autre, le *Stegosaurus* dont le dos était orné de solides rangées de plaques osseuses. L'*Ankylosaurus* dont le corps était recouvert d'une armure osseuse s'étendant de la tête jusqu'à la queue. Les dinosaures à cornes aussi tel le redoutable *Triceratops*. Bien que n'appartenant pas aux dinosaures, d'autres sauriens appelés dragons des mers peuplaient les océans. Dans les eaux profondes vivaient les gigantesques plésiosaures. Les Ichtyosaures aussi dont le museau armé de dents était semblable à celui des dauphins actuels. Nous avons jusque là parcouru le sol des continents, explorer les profondeurs des océans ; ne nous reste plus qu'à élever les yeux vers le ciel. Et dans les airs les reptiles s'y trouvent aussi en très grand nombre. Les ptérosaures n'appartiennent pas non plus au groupe des dinosaures. Ces reptiles volants sont pourtant restés les maîtres du ciel du Trias supérieur à la fin du Crétacé (-225 à -65 Ma). Ils étaient recouverts d'une fine fourrure. À partir du Jurassique supérieur apparurent des ptérosaures plus évolués appelés ptérodactyles. Ces derniers supplantèrent complètement les formes les plus primitives jusqu'à la limite du Crétacé-Tertiaire. Une attention toute particulière à un animal qui regroupe à lui seul les caractéristiques des reptiles et des oiseaux. Si l'*Archæopteryx* fut le premier reptile à avoir développé de vraies plumes, il semble néanmoins probable que son vol fut encore très maladroit. Cet animal ne possédait en effet pas les caractéristiques anatomiques des oiseaux modernes, à savoir la fixation des muscles alaires sur le bréchet et un cerveau suffisamment développé pour contrôler les enchaînements moteurs d'un vol de bonne qualité. Un fossile particulièrement bien conservé de cet animal a été retrouvé dans les calcaires schisteux de la carrière de Solnhofen en Allemagne. Ce fossile

possède au moins le mérite de raconter la belle histoire de l'évolution graduelle du vivant, du passage du reptile à l'oiseau par le sceau de la plume. Nous ne saurions terminer cette odyssée des reptiles sans citer le passage de la Bible qui y fait indirectement référence. « *Dieu créa les grands monstres marins et toutes les espèces d'animaux qui se faufilent et grouillent dans l'eau, de même que toutes les espèces d'oiseaux. Et il constata que c'était une bonne chose. Dieu les bénit en disant : que tout ce qui vit dans l'eau se multiplie et peuple les mers ; et que les oiseaux se multiplient sur la terre ! Le soir vint, puis le matin ; ce fut la cinquième journée* » (Genèse 1, 21-23). Quelle extraordinaire superposition des événements entre ce que Dieu réalisa le cinquième jour de sa création et l'ère du Mésozoïque décrite par la science. Cette concordance des épisodes biologiques s'avère d'autant plus surprenante qu'à la fin du Mésozoïque apparurent l'*Archæopteryx* et ses célèbres plumes. La plume ! Le mésozoïque inventa un organe/outil d'une ingéniosité sans pareille qui permit aux oiseaux de conquérir le monde. La Bible ne se trompe donc pas en disant que « *toutes les espèces d'oiseaux* » sont apparues en même temps que les « *grands monstres* » (dinosaures et autres sauriens) dans la mesure où c'est bel et bien le couple reptile/plume qui fut à l'origine de tous les oiseaux du monde. Mais le Mésozoïque fut l'initiateur d'autres organes, chez les plantes cette fois : la feuille et la fleur. Deux innovations qui comme la plume, vont se révéler si parfaite dans leur conception, que toutes les deux s'en iront coloniser l'ensemble des terres émergées.

DES MAMMIFERES TIMIDES MAIS TENACES

Si le Mésozoïque est associé au règne des reptiles, il ne faut cependant pas minimiser le rôle qu'ont joué les mammifères. Ces derniers sont apparus à la fin du Trias (-200 Ma). Les dinosaures et les mammifères se partageaient les mêmes territoires mais la destinée des uns et des autres a suivi un chemin très différent. Pendant que les reptiles prospéraient sur la terre, les eaux et les airs, les premiers mammifères occupaient des habitats restreints et strictement terrestres. Les mammifères descendent d'une lignée de reptiles mammaliens ayant survécu à l'extinction du Trias. Les fossiles

montrent que les premiers mammifères étaient de petite taille, de la grosseur d'une souris ou d'un rat tout au plus. Leur classe s'est divisée en deux groupes connus sous les noms de « *protothériens* » et de « *thériens* ». Le plus proche ancêtre des mammifères protothériens est le cynodonte dont nous avons vu qu'il creusait des terriers pour pondre ses œufs et allaiter ses petits. Si les protothériens disparurent pratiquement tous à la fin du Crétacé, il subsiste néanmoins encore de nos jours en Australie deux représentants de cette branche ancienne : l'ornithorynque et l'échidné. Ces animaux qui appartiennent à l'ordre des monotrèmes demeurent les deux seuls rescapés protothériens à pondre des œufs et à allaiter leurs petits. L'autre grand ensemble est celui des thériens qui constituent l'immense variété de formes et de mœurs des mammifères actuels. Les thériens se divisent en marsupiaux et en placentaires, tous deux apparus au début du Crétacé (-100 Ma). Chez les marsupiaux, les femelles accouchent d'êtres imparfaitement formés qui se nourrissent du lait de la mère à l'intérieur d'une poche ventrale. Ce n'est qu'après une période d'incubation supplémentaire que les petits sortent de la poche pour vivre normalement auprès de leur mère. Les marsupiaux actuels vivent en Australie et en Tasmanie, parmi eux se trouvent, entre autres, le kangourou, le wallaby, le koala ou le wombat. Pour ce qui est des mammifères placentaires, les petits sortent du corps de la mère à un stade avancé de leur développement. Or qu'il soit marsupial ou placentaire, le nouveau-né se nourrit du lait maternel qui contient, en plus des matières nutritives indispensables à sa croissance, des anticorps qui le protègent des maladies. L'allaitement dont les origines remontent aux reptiles mammaliens constitue une avancée majeure dans l'histoire de la vie. En plus de nourrir et de protéger les nouveau-nés des affections parasitaires ou virales, l'allaitement favorise un contact plus proche entre les petits et leur mère. Cette relation mère-rejetons, relativement frustrée au début, ne cessera de s'affirmer avec le temps jusqu'à générer au cours des ères et des époques suivantes, des dynamiques nouvelles au sein des groupements animaux.

LES INVENTIONS DE LA NATURE

S'il est une leçon que nous devrions tous retenir du passé de notre planète, c'est qu'elle a toujours su préserver ses innovations biologiques les plus performantes. Le Précambrien nous a révélé la richesse de ces inventions avec la synthèse des premières protéines, des acides nucléiques sans qui l'ADN n'existerait pas, l'apparition des premières cellules vivantes, de la photosynthèse qui permit aux cyanobactéries d'ouvrir la voie de la vie aérobie. Le Paléozoïque fut riche aussi en inventions avec, en tête, l'explosion cambrienne et sa multitude d'organisations anatomiques. Puis vint le Mésozoïque avec ses plumes, ses feuilles et ses fleurs ; trois nouvelles conceptions d'une ingéniosité si parfaite, qu'elles ont sans problème traversé les millions d'années. Il est dit de la plume qu'elle tiendrait ses origines d'une écaille de reptile. C'est vrai que les plumes comme les écailles sont constituées de kératine. Or si l'écaille se compose d'une plaque plus ou moins uniforme, la plume elle, se compose d'une tige centrale sur laquelle s'insèrent des barbes disposées en lames. Les barbes de la lame demeurent elles-mêmes reliées entre elles par des barbules équipées de minuscules crochets qui maintiennent l'ensemble en une structure étanche à l'eau. Il ne fait aucun doute que les oiseaux ont évolué à partir des reptiles. Il est toutefois difficile d'imaginer, d'autant qu'il n'existe aucune forme intermédiaire entre l'écaille et la plume, par quel incroyable hasard une écaille a pu se transformer en un outil de vol aussi parfait. Pour les Darwinistes, la plume jette une passerelle entre les reptiles et les oiseaux. Une passerelle certes, dont on connaît les deux extrémités mais absolument rien de l'intervalle qui les sépare. Autres inventions du Mésozoïque, chez les végétaux cette fois: la feuille et la fleur. Les premières plantes à feuilles et à fleurs (angiospermes) apparurent pendant le Crétacé (-144 à -65 Ma) (Coiffard et al., 2007). Comparée aux autres formations végétales, la feuille se caractérise par une surface plane riche en chloroplastes et donc capable de capter plus efficacement la lumière du soleil. Plus de lumière, cela signifie un rendement photosynthétique plus important et donc pour le végétal, la possibilité de fabriquer plus de cellulose. Avec un rendement aussi élevé, la feuille s'épuise vite et meurt chaque année en tombant sur le sol. En même temps que s'accumule dans les sous-bois une quantité importante de matière organique, se développe dans l'humus une kyrielle d'organismes qui dégradent la matière organique en sels minéraux à

nouveau assimilables par les plantes. Pour ce qui est de l'histoire des fleurs, les botanistes ont découvert que l'altération de certains gènes propres au développement floral conduit à la croissance de structures végétales semblables à des feuilles. Il n'est donc pas impossible qu'au Crétacé, les gènes amenant à la formation des feuilles aient subi une ou plusieurs mutations capables de générer des fleurs. Les premières fleurs ont dû être simples dans leurs formes et dotées d'une gamme de couleurs rudimentaire. Elles évoluèrent par la suite en des formes plus complexes assorties de couleurs plus chatoyantes. Certaines d'entre-elles furent même capables d'émettre des substances odorantes.

Encadré 7

Les gymnospermes et les angiospermes

Le règne végétal se divise en deux embranchements que sont les cryptogames (algues, fougères, mousses, lichens et champignons) et les phanérogames (plantes à cônes ou à fleurs). Les cryptogrammes regroupent les plantes dont les organes reproducteurs ne sont pas visibles et les phanérogames au contraire, l'ensemble des végétaux dont les organes reproducteurs sont apparents. Les phanérogames se divisent à leur tour en deux sous-embranchements: les gymnospermes (conifères et cycas) et les angiospermes (plantes à fleurs). Alors que la fécondation des gymnospermes est assurée par le vent, celle de la plupart des angiospermes est effectuée par de nombreuses espèces animales et en particulier, les insectes pollinisateurs.

Anatomiquement, une fleur se compose d'un pistil (organe femelle) et de plusieurs étamines (organes mâles) situées sur la même fleur pour les plantes monoïques ou bien sur deux fleurs différentes dans le cas des végétaux dioïques. Or, qu'elles soient monoïques ou dioïques, les fleurs ont souvent besoin d'un intermédiaire pour déposer sur le pistil, le pollen produit par les étamines. Les insectes trouvèrent au fond des calices un nectar riche en sucres. S'établit de la sorte très vite et au profit des deux parties, un véritable partenariat entre les règnes végétal et animal. Des

ordres nouveaux d'insectes apparurent vers le milieu du Crétacé, les plus assujettis au régime floral étant les hyménoptères (abeilles, guêpes, bourdons et fourmis), les lépidoptères (papillons) et les diptères (mouches et moustiques). Ces trois ordres développèrent des appareils buccaux adaptés à la récolte du pollen et du nectar. Les hyménoptères se dotèrent d'une langue poilue pour boire le liquide sucré et de brosses sur les pattes arrière pour ramasser le pollen. Les lépidoptères et les diptères développèrent une longue trompe capable de puiser le nectar au fond des corolles. Au final, les plantes à fleurs permirent aux insectes d'évoluer vers des formes différentes, dispensatrices de comportements nouveaux. La prolifération des plantes à fleurs dans les prairies et à tous les étages des forêts contribua également à l'explosion des oiseaux insectivores. Une fois fécondé, l'ovaire de la fleur se transforme en un fruit contenant des graines. Les fruits nourrissent les oiseaux, les reptiles et les mammifères frugivores. Les graines sont mangées par toute une légion de petits animaux, lesquels participent à leur tour à leur dissémination. Ainsi, la fleur à elle seule provoqua une évolution en cascade qui permit l'essor des insectes pollinisateurs, des oiseaux et des mammifères insectivores, frugivores et granivores. Cette faune moderne partageait les mêmes territoires que les vieux sauriens toujours aussi actifs et nombreux. Puis vint le jour où la planète entière fut submergée sous un déluge de feu et de cendres. Ce jour là, le monde vécut l'une des plus brutales ruptures biologiques de tous les temps !

UNE NÉMÉSIS TOMBÉE DU CIEL

Fin du Crétacé : - 65 Ma. Le soleil se lève en illuminant le sommet des arbres d'une lumière dorée. La vie s'anime à tous les étages de la forêt, oiseaux, reptiles, arthropodes, mammifères... tous répondent aux besoins pressants de la vie ; manger, boire, s'accoupler et survivre aux prix d'impitoyables combats. Pour l'heure, rien ne présage de la terrible catastrophe qui va s'abattre sur le monde. Les dinosaures règnent en maîtres. Les mammifères toujours très clairsemés partagent leur aire de prédation avec leurs concurrents directs, les reptiles. Le drame qui a changé si radicalement le cours de l'histoire a surgi de l'espace sous la forme d'une météorite. Imaginons un instant une montagne plus haute et plus

volumineuse que l'Everest qui percute le sol de notre planète à une vitesse de 90 000 kilomètres à l'heure. L'impact eut lieu dans la presqu'île du Yucatan, plus précisément à Chicxulub au Mexique. L'énergie instantanément produite par l'impact a été évaluée à cinq milliards de bombes atomiques de type Hiroshima. Une énergie colossale qui, en une fraction de seconde, creusa un cratère de 200 kilomètres de diamètre. Les morceaux de la croûte terrestre disloquée par le choc se mélangèrent à de la vapeur d'eau, le tout formant une gigantesque colonne de débris et de cendres. Le champignon de feu et de matière en fusion enveloppa la Terre sous un nuage de cendres incandescentes. Autant dire que dans cette fournaise, beaucoup de plantes et d'animaux se sont consumés comme des torches. Forêts, savanes, et steppes ne furent bientôt plus que des étendues de cendres noires. L'obscurcissement du ciel par les cendres fit chuter les températures en dessous de zéro. L'hiver dit « nucléaire » s'échelonna sur une dizaine d'années, une décennie entière de famine au cours de laquelle tous les dinosaures succombèrent (neuvième extinction). Les plantes qui ne flambèrent pas au moment de l'impact moururent du froid polaire qui s'installa partout sur la planète. Moins de végétaux à manger, les sauropodes herbivores furent de ceux à s'éteindre les premiers, suivis de près par les dinosaures carnivores. Les paléontologues se sont toujours demandés si les dinosaures appartenaient au groupe des animaux à sang froid ou bien à celui des animaux à sang chaud. Le métabolisme des reptiles modernes varie selon la température, les amenant lorsque cette dernière chute, à un état de vie ralentie nommé hibernation. Si cette dépendance à la chaleur et au froid fut aussi contraignante chez les dinosaures, alors la froideur de l'hiver nucléaire associée au manque de nourriture mit un terme rapide à leur règne. Ne survécurent donc au drame cosmique que les animaux qui purent à la fois se protéger du froid et se contenter de rations alimentaires plus réduites. Deux grands groupes répondirent à ces exigences : Les oiseaux et les mammifères. Les oiseaux sont des vertébrés ailés dont nous avons vu que les dinosaures étaient leurs ancêtres. Les oiseaux dégagent une chaleur interne élevée, ce qui les range dans le groupe des animaux à sang chaud. Leur corps couvert de plumes les protège de surcroît de l'eau et du froid. Les mammifères sont aussi des animaux à sang chaud dont le corps recouvert de fourrure les protège également de l'eau et du froid. Les oiseaux comme les

mammifères purent donc lutter efficacement contre l'hiver nucléaire en se nourrissant d'insectes et de graines. Ayant un gabarit des centaines, voire des milliers de fois plus petit que celui des dinosaures, les oiseaux franchirent la période de disette sans trop avoir à souffrir du manque de nourriture. Les mammifères et les petits reptiles (serpents, lézards, crocodiles, tortues...) survécurent aussi à l'épisode destructeur en creusant des terriers dans le sol. Dans les océans, la décimation n'épargna pas le plancton ainsi que les grands sauriens aquatiques, les ammonites et les bélemnites. Sur terre, les plantes qui résistèrent le mieux au froid et au manque de lumière furent celles qui purent affronter le long hiver nucléaire sous la forme de graines (gymnospermes et angiospermes). La théorie de l'impact météoritique de Chicxulub au Mexique a été avancée en 1980 par le géologue américain Walter Alvarez et son équipe (Alvarez et al., 1984). Les prospections menées un peu partout dans le monde au niveau des strates de la limite du Crétacé et du Tertiaire révélèrent des concentrations anormalement élevées en iridium. Ce métal appartenant au groupe du platine est quasiment absent sur Terre. Il est par contre abondant dans les météorites de composition métallique. En plus de donner une réponse à l'énigme de la disparition des dinosaures, cette découverte réactiva la vieille querelle qui oppose catastrophistes et gradualistes.

CATASTROPHISME VERSUS GRADUALISME

Nous l'avons compris maintenant, l'histoire de la vie sur notre planète a connu de nombreux soubresauts. Les fossiles enfouis dans les strates géologiques racontent le récit mouvementé des règnes vivants. Le premier scientifique à traiter sérieusement des extinctions de masse fut l'anatomiste Français Georges Cuvier (1769-1832) qui, à la fin du 18^{ème} siècle, proclama que non seulement des périodes de crises anéantissaient une quantité incroyable de plantes et d'animaux mais qu'en plus, ces périodes avaient été courtes et violentes. La théorie de Cuvier connue sous le nom de catastrophisme ne connut que peu de succès auprès de ses pairs. Le catastrophisme fut d'ailleurs rapidement supplanté par la thèse de l'uniformitarisme que prôna Charles Lyell (1797-1875) puis par celle du gradualisme de Charles Darwin (1809-1882). Charles Lyell écrivait dans

son ouvrage « *Principles of geology* » que les extinctions de masse n'étaient qu'une vue de l'esprit et que la Terre avait été façonnée très lentement, sur de longues périodes par les forces que sont l'érosion des sols, les éruptions volcaniques et les glissements de terrain (Lyell, 1830). Avec son livre « *L'origine des espèces* », Charles Darwin amena à son tour une conception nouvelle et gradualiste de l'évolution du vivant en énonçant les principes fondateurs de la sélection naturelle (Darwin, 1859). Ainsi s'opposèrent au 18^{ème} siècle, catastrophisme, uniformitarisme et gradualisme. L'église de son côté prônait les valeurs fixistes de la Bible selon lesquelles les espèces animales et végétales ne subissaient aucune évolution biologique. Il ne fait désormais plus de doute que le monde du vivant évolue mais qu'en plus, il a subi toute une série d'extinctions massives. L'iconographie conventionnelle des extinctions de masse récence à cinq le nombre des décimations qui ont frappé notre planète :

1- Fin de l'Ordovicien (-440 Ma) : Cette extinction a causé l'éradication d'un tiers des espèces vivantes,

2- fin du Dévonien (-365 Ma) : Les archives fossiles montrent que 70% des invertébrés marins n'ont pas survécu à cet épisode,

3- fin du Permien (-225 Ma) : C'est l'extinction la plus radicale de tous les temps avec la disparition de près de 95 % de la vie marine et de 70 % des espèces terrestres,

4- fin du Trias (-210 Ma) : La diversité biologique a diminué de moitié, ce qui a permis aux dinosaures de coloniser la Terre,

5- fin du Crétacé (-65 Ma) : Cette crise a mis un terme à 160 millions d'années de suprématie saurienne.

Les extinctions de masse sont classiquement répertoriées à partir du Paléozoïque or, nous l'avons constaté, des décimations toutes aussi violentes ont anéanti des faunes et des flores entières du Précambrien (voir fig. 3). La première crise biologique a eu lieu voici 2,1 milliards d'années quand le premier phylum des organismes pluricellulaires (fossiles du Gabon) fut anéanti au cours de la glaciation Varanger. Les deuxième et troisième décimations furent à l'origine de la disparition des créatures constituant les

faunes d'Édiacara et de Tommot (-600 à -530 Ma). Enfin la quatrième et dernière extinction non répertoriée provoqua la disparition des nombreux embranchements apparus au cours de la très prolifique explosion cambrienne (-510 Ma). Ce ne sont donc pas cinq extinctions qui ont ébranlé le monde du vivant mais neuf, du moins jusqu'à la dernière décimation officielle qui provoqua la disparition des dinosaures (voir fig. 3). Les causes de ces extinctions sont multiples : émission de gaz toxique, volcanisme, effet de serre, glaciation, chute de météorite... les causes sont nombreuses et certainement pas toutes identifiées. Quoi qu'il en soit, les extinctions de masses provoquent de véritables ruptures dans la chaîne du vivant. Point n'est nécessaire d'être le mieux adapté au milieu, l'agent responsable de la décimation exterminie tout, les faibles comme les plus forts. La météorite qui fut à l'origine de l'extinction des dinosaures montre à quel point ces décimations sont étrangères aux principes de l'évolution graduelle. La loterie du vivant selon les termes de Stephen J. Gould ! Une loterie annihilatrice de vie qui montre surtout les limites du darwinisme. D'autres avanceront que les événements qui affectent l'univers se trouvent inscrits dans une sorte de code cosmique. Nous reviendrons plus tard sur cette dualité du hasard et du déterminisme qui divise encore bon nombre de scientifiques. À ce stade de la réflexion, nous pouvons avancer sans trop nous tromper qu'aux périodes d'évolution graduelle des espèces s'opposent les extinctions de masse au cours desquelles une proportion significative des espèces animales et végétales ont disparu de la surface du globe. George Cuvier avait eu raison en son époque d'avancer que le règne vivant était soumis à des périodes de crises aussi brutales que dévastatrices. Charles Darwin, le père fondateur du gradualisme, avait vu juste aussi dans la mesure où entre deux cataclysmes, c'est bien la sélection naturelle qui façonne le monde du vivant. Afin de concilier les théories de Cuvier et de Darwin, une alternative intéressante fut proposée par Stephen J. Gould et Niles Eldredge selon laquelle l'évolution procéderait selon une ligne discontinue, alternant périodes de stagnation évolutive avec périodes de grandes innovations biologiques (Gould & Eldredge, 1972). Le monde serait ainsi fait de petits changements graduels qui s'accumulent dans le temps et ce, jusqu'à ce que sévissent des événements cataclysmiques qui redistribuent les rôles. Les heureux gagnants ne survivent pas parce qu'ils

sont les mieux adaptés mais parce qu'ils ont eu la chance d'échapper à l'action aveugle de l'évènement destructeur. Cette vision de l'évolution hachée par une succession de moments critiques n'a plus trop grand-chose à voir avec la vision conventionnelle du gradualisme. Confortant cette vision que la vie n'est pas un long fleuve tranquille, la Bible décrit elle-même dans les pages de la Genèse, la plus spectaculaire extinction de tous les temps. Tout d'abord Dieu dit à Noé « *Quant à moi, je vais provoquer une grande inondation, pour anéantir tout ce qui vit. Tout ce qui se trouve sur la terre devra périr* » (Genèse 5, 17). Ainsi, jugeant que tout ce qui marche, vole ou rampe sur la Terre est corrompu, Dieu décide de noyer les continents sous les eaux. De façon plutôt directe, ce verset de la Genèse décrit les effets générés par une décimation de masse. Rappelons que le passage du déluge dans la Bible et de ses conséquences sur la biodiversité a été écrite par Moïse il y a de cela 3500 ans. La Bible et avant elle les écrits sumériens se retrouvent donc être les premiers écrits de l'histoire humaine à avoir décrit le concept d'extinction de masse et de ses effets sur le monde du vivant. Poursuivons maintenant notre passionnante exploration de la vie sur Terre et entrons dans l'ère du Cénozoïque. Des surprises nous y attendent là aussi... et non des moindres !

CHAPITRE 5

LE CÉNOZOÏQUE

L'ère du Cénozoïque ou Tertiaire a débuté il y a 65 millions d'années, aussitôt après la décimation qui mit un terme au règne des dinosaures. Le Cénozoïque est composé des trois grandes périodes que sont le Paléogène, le Néogène et le Quaternaire. Qualifiée d'âge d'or des mammifères, cette ère a vu naître une multitude d'espèces différentes dont une très différente des autres dans la mesure où elle accéda à la conscience. Le Cénozoïque, c'est aussi l'ère d'intenses bouleversements géologiques qui ont donné naissance à de hautes chaînes de montagnes et séparé les continents par de vastes mers et océans.

LA RADIATION ÉVOLUTIVE DU PALÉOGÈNE (-65 à -24 Ma)

Plus de dinosaures ni de grands sauriens sur terre, dans les eaux ni sans les airs, ainsi commence la dernière ère du Cénozoïque. Le Paléogène est la première période du Cénozoïque, celle-ci étant elle-même scindée en trois époques : le Paléocène, l'Eocène et l'Oligocène. Le Paléocène débuta après la décimation de la fin du Crétacé. Comme après toutes les périodes qui suivent une extinction de masse, le Paléocène se caractérisa par une radiation explosive des espèces survivantes. Pour ce qui est de la configuration du monde, les continents issus de la Pangée continuèrent pour certains, à s'écarter les uns des autres alors que pour d'autres, leurs plaques se heurtèrent en soulevant d'impressionnants massifs montagneux. L'océan Atlantique s'ouvrait pendant que de l'autre côté du globe, l'Australie et l'Antarctique se séparaient en deux continents distincts. L'Inde se désolidarisait de l'Afrique tandis qu'en Europe, la collision entre les plaques eurasienne et africaine entraînait la formation des Alpes et des Pyrénées. Sur le continent américain, l'événement géologique majeur fut la formation des montagnes Rocheuses, s'étendant du nord au sud sur plus de 3500 kilomètres. Au cours de cette période géophysiquement très agitée, le climat de la planète se refroidit tout en devenant plus sec. D'immenses prairies

entrecoupées de forêts recouvraient les plaines et les montagnes. Dans ces environnements désormais vides de dinosaures, les mammifères se diversifièrent et se multiplièrent à toute vitesse. Les plantes à fleurs et leurs cohortes d'insectes pollinisateurs continuèrent à prendre leur essor. Les troncs et les branches des arbres abritaient des insectes xylophages, l'humus du sol entretenu par la chute saisonnière des feuilles nourrissait d'importantes colonies d'arthropodes. Autant de petites proies qui profitèrent aux mammifères insectivores. Les insectes nourrirent aussi les oiseaux qui prirent possession du ciel aussitôt les ptérosaures décimés. Ainsi s'écoulèrent les quinze millions d'années du Paléocène avec une faune qui s'essayait sur une multitude de voies nouvelles. L'Eocène qui dura à son tour une vingtaine de millions d'années engendra une seconde vague de radiation des espèces. Les températures élevées et les océans chauds de cette époque amenèrent un climat humide et doux qui favorisa un peu partout sur la planète, l'installation de vastes forêts humides. Les mammifères se diversifièrent de nouveau très rapidement. Apparurent les chauves-souris, les ancêtres des chevaux mais aussi les zèbres, les tapirs, les rhinocéros, les éléphants et les premiers ruminants. Les mammifères carnassiers devinrent plus gros, plus forts et plus puissants. Dans les forêts denses virevoltaient de branche en branche les premiers primates. Les forêts marécageuses de l'Eocène abritaient aussi d'étranges oiseaux herbivores connus sous le nom de *Gastornis*. Ces colosses de plus de deux mètres de haut possédaient deux pattes longues et puissantes qui leurs permettaient de courir vite sur de longues distances. Les *Gastornis* né au début de l'Eocène eurent un règne bref dans la mesure où ils disparurent tous à la fin de cette époque. Le point de l'évolution le plus surprenant de l'Eocène fut le retour de certains mammifères au milieu aquatique. Les premiers cétacés sont en effet apparus au cours de cette époque vieille de 50 millions d'années. Deux ordres de mammifères s'en retournèrent vivre dans les eaux des mers et des océans : les cétacés et les siréniens. Des recherches fines réalisées sur les fossiles disponibles montrent que les cétacés sont phylogéniquement proches des hippopotames. Les mêmes études faites sur les siréniens ont révélé qu'ils dénotaient plus d'affinités avec les éléphants. Beaucoup de leurs caractères anatomiques évoquent d'ailleurs leur ancienne vie terrestre. Les cétacés comme les siréniens respirent l'air atmosphérique, à l'inverse des poissons

qui utilisent l'oxygène dissout dans l'eau. Le fait que ces animaux allaitent leur progéniture nous rappelle qu'ils appartiennent à la classe des mammifères. La dernière époque du Paléogène (Oligocène : -35 Ma) connut quant à elle un remaniement profond de sa faune. Le refroidissement général des zones tempérées associé à une aridité croissante des biotopes favorisa l'installation de milieux ouverts de type savane, steppe ou toundra. Cette modification des environnements terrestres appelée la « grande coupure » provoqua une nouvelle extinction de masse (la dixième selon notre propre classification), affectant essentiellement les faunes d'Europe et d'Amérique du nord (Costa *et al.*, 2011). La disparition de ces faunes se fit aussi sous la pression insistante d'autres lignées plus invasives venues du continent asiatique. La régression des habitats forestiers affecta les populations des primates arboricoles prosimiens tandis que dans les savanes qui ne cessaient de s'étendre vivaient d'importants troupeaux d'herbivores. L'Oligocène fut en quelque sorte, le creuset de la future mégafaune terrestre au sein de laquelle se dessinèrent les espèces modernes des herbivores. Pour ce qui est de l'histoire des primates, nous savons maintenant que ceux qui vivaient dans les forêts humides de l'oligocène furent supplantés par des populations de primates anthropoïdes. Ces derniers ne possédaient plus de queue et le volume de leur cerveau était déjà plus important que les singes prosimiens. L'étude de leurs dents montra qu'ils se nourrissaient de produits végétaux assortis d'un complément carné occasionnel. Du point de vue de la Bible, les mammifères sont identifiés comme appartenant aux groupes « *animaux domestiques, petites bêtes et animaux sauvages* » qui apparurent le sixième jour de la création. « *Que la terre produise toutes espèces de bêtes : animaux domestiques, petites bêtes et animaux sauvages de chaque espèce ! Et cela se réalisa* » (Genèse 1, 24). L'appellation « *animaux domestiques* » pour désigner une partie de la classe des mammifères ne choque pas dans la mesure où la plupart des grands animaux apprivoisés par l'homme provient en effet de la classe des mammifères.

LES HISTOIRES EN BOUCLE DE L'ÉVOLUTION

Avant de poursuivre notre voyage sur les eaux tumultueuses de la vie, arrêtons-nous un moment sur les histoires en boucle de l'évolution. Les

premières formes de vie naquirent dans l'océan primitif du Précambrien. Les procaryotes furent les premières à apparaître puis vint le tour des cellules eucaryotes qui, très vite, s'assemblèrent en des êtres pluricellulaires. L'adaptation de la vie marine à la vie terrestre prit beaucoup de temps, pas moins de deux milliards d'années. Ce changement a nécessité un remaniement important du vivant, tant au niveau de la morphologie que de la physiologie cellulaire. Conséquence première de cette réorganisation, les branchies des poissons durent se transformer en poumons. Les animaux qui vivaient dans les eaux salées durent de surcroît s'adapter à la pression osmotique nettement moins importante des milieux terrestres. Autant de chamboulements physiologiques qui demandèrent du temps et toute une succession de mutations héréditaires. Pourtant à l'apogée de leur règne sur terre, les reptiles réinvestirent les océans pour y habiter en maîtres pendant des millions d'années. Même coup de théâtre avec les mammifères, qui, une fois qu'ils se furent parfaitement bien implantés dans toutes les niches écologiques terrestres, regagnèrent pour certains d'entre eux, les mers et les océans pour y fonder des ordres nouveaux (cétacés, siréniens et pinnipèdes). Les ancêtres des mammifères marins modernes auraient donc été par le passé des animaux terrestres ou amphibies, ayant eu à leur disposition 50 millions d'années pour s'acclimater d'un environnement continental à marin. De nombreuses modifications furent nécessaires pour transformer un mammifère quadrupède en une baleine, un lamantin ou un morse : changement des pattes en nageoires, de la queue en nageoire caudale, profilage du corps, transformation des dents en fanons pour les baleines... la liste est longue et non exhaustive. L'éternel problème lorsque l'évolution gradualiste s'attaque aux transformations profondes du vivant, c'est que les archives fossiles ne révèlent bien souvent aucune forme intermédiaire. Il est vrai aussi que les mœurs aquatiques de ces animaux ne facilitent pas le travail des paléontologistes dans la mesure où les formes intermédiaires sont mortes depuis bien longtemps et qu'elles reposent au fond des mers et des océans. Un jour peut-être, retrouverons-nous l'ensemble de ces chaînons manquants !

LA RADIATION HOMINOÏDE DU NÉOGÈNE (-24 à -2 Ma)

En abordant la deuxième période du Cénozoïque, nous entrons de plein pied dans la proche banlieue du monde moderne. Le Néogène se subdivise en deux époques que sont le Miocène (-24 à -5 Ma) et le Pliocène (-5 à -2 Ma). Avec ses 22 millions d'années, le Néogène représente la période la plus courte de l'histoire de la Terre or, ce fut pendant celle-ci que le monde du vivant choisit de prendre un tournant radicalement nouveau. Au Néogène en effet, l'évolution œuvra bien au-delà des classiques restructurations anatomiques et physiologiques en dotant certaines créatures d'une force totalement nouvelle en biologie : l'intelligence. Pour bien comprendre le sens de ce mot, il nous faut désormais nous aventurer bien au-delà du cadre strict de l'évolution darwinienne. Dans les forêts denses qui recouvraient le continent africain vivait un hominoïde du nom d'australopithèque. Ce grand singe d'il y a 5 millions d'années se nourrissait de feuilles et de l'écorce des arbres tout en passant la plus grande partie de son existence dans la canopée. Un monde de forêts tranquilles abondamment arrosées et où courait, de la mer Morte jusqu'au fleuve Zambèze, un système de failles à forte activité sismique (vallée du Rift). Les terres situées à l'est de la faille se soulevèrent en hauts plateaux tandis que celles localisées à l'ouest restèrent des plaines forestières. Les nuages qui se formaient au dessus de l'océan Atlantique déversaient leur pluie à l'ouest de la faille alors qu'à l'est, les précipitations bloquées par les à-pics et les volcans étaient rares, entraînant une réduction importante des espaces forestiers. Le groupe d'australopithèques situé à l'ouest de la faille continua à vivre une vie arboricole dans une forêt humide et dense. À l'est de la faille, la forêt fut progressivement remplacée par de vastes savanes. Les australopithèques de cette région d'Afrique durent s'adapter à un environnement plus aride. Ce partage de l'Afrique en deux environnements très distincts, l'un boisé et humide et l'autre herbeux et aride entraîna l'évolution de l'hominoïde ancestral en deux lignées distinctes. Les australopithèques localisés à l'ouest de la vallée du Rift auraient été les ancêtres des gorilles et des chimpanzés et ceux situés à l'est, des futurs humains. Cette théorie sur les origines de l'homme fut la première fois avancée par l'éthologiste allemand Adriaan Kortlandt (1918-2009) (Kortlandt, 1972). Dans l'environnement ouvert que constitue la savane, l'australopithèque acquit une station debout qui lui permit de se servir de ses deux mains pour fabriquer des outils. L'australopithèque était un hominoïde

de forte corpulence, doté de mâchoires puissantes lui permettant de manger des feuilles, des fruits, des écorces et des tubercules. La très médiatisée australopithèque femelle du nom de Lucy se fit d'ailleurs connaître du grand public par une reconstitution de son squelette retrouvés en 1974 sur le site d'Hadar en Ethiopie. Aucun squelette d'australopithèque de la lignée de Lucy ne fut trouvé à l'ouest du continent africain tout comme aucun squelette de grand singe ne fut jamais découvert à l'est de l'Afrique. Ce qui fit dire à bon nombre de paléontologistes que l'humanité était née dans les grandes savanes africaines. Les températures qui commencèrent à baisser au début du Néogène chutèrent plus encore à la fin du Pliocène. L'environnement devint plus aride encore et l'alternance des saisons plus prononcée. L'australopithèque savanicole auquel appartenait Lucy dut faire face à l'apparition sur son terrain de chasse et de cueillette, d'un concurrent plus adapté au milieu et pourvu d'un cerveau plus gros. Nous nous trouvons maintenant à la fin du Pliocène (-2,5 Ma), une époque au cours de laquelle apparut *Homo habilis*, le premier d'une longue lignée qui mena à l'homme moderne. *Homo habilis* se caractérise par des membres inférieurs robustes et des membres supérieurs plus légers. Même s'il se déplaçait dans les arbres avec une grande agilité, sa station debout plus assurée lui permettait de franchir de grandes distances. Les outils en pierre qu'il fabriquait l'aidèrent à découper la viande et à casser les os pour en extraire la moelle. *Homo habilis* coexista pendant un temps avec les australopithèques jusqu'à ce que ces derniers disparaissent totalement. La distinction entre l'australopithèque et l'*Homo habilis* n'est d'ailleurs pas toujours facile à établir dans la mesure où la science ne doit plus seulement comparer des anatomies et des morphologies différentes mais prendre en compte les aspects sociétaux et les émotions de *personnes* intelligentes. La conscience permet d'analyser le monde alentour, de prendre des décisions puis d'adapter son comportement en fonction de cette prise de décision. L'environnement où évoluait *Homo habilis* présentait bien des dangers. La faune répertoriée au Pliocène comprenait de gros mammifères herbivores, tels le mammoth, le cheval, le cerf et l'éléphant. Or qui dit herbivores, dit aussi carnivores dont le plus redoutable de tous était le tigre à dents de sabre (smilodon). Pendant la plus grande partie du Pliocène, le climat demeura doux. Sur sa fin cependant les vents du nord apportèrent avec eux les prémices des grandes périodes

glacières. Les forêts tropicales continuèrent à se réduire et n'occupèrent bientôt plus qu'une étroite bande équatoriale. Les savanes à graminées au sud, les steppes et la toundra au nord s'étendirent sur tous les continents. L'Antarctique devint un désert de glace balayé par les vents. Aux latitudes situées juste en dessous de l'Arctique, les arbres aux feuillages caducs laissèrent la place à des forêts de conifères, plus résistantes au froid. D'immenses glaciers dévalèrent du pôle nord pour ensevelir l'Europe et le nord de l'Amérique sous des kilomètres de glace. Une nouvelle période s'annonçait, le quaternaire, témoin des grandes glaciations et de l'apparition de l'homme moderne.

GLACIATIONS ET RADIATION HUMAINE DU QUATERNAIRE

Les glaciers recouvrant désormais une grande partie de l'hémisphère nord, les animaux et les plantes n'eurent pas d'autre alternative que de s'installer dans les steppes et les toundras interglaciaires. Cohabitaient dans ces environnements constamment balayés par les vents froids venus du nord, une faune composée de bœufs musqués, d'aurochs, de cerfs, de rennes, de renards, de rhinocéros laineux, d'éléphants et de mammouths. Dans les montagnes d'Europe vivait aussi le redoutable ours des cavernes, forme géante de notre actuel ours brun. Des hordes de loups parcouraient les steppes à la recherche d'un buffle à dévorer. Des troupeaux de bisons s'étendaient à perte de vue dans les immenses prairies du continent américain. Sur ces terres vivait aussi le mégathérium, un animal de plus de six mètres de long et pesant trois tonnes. Ce paresseux géant de la taille d'un éléphant possédait des griffes de trente centimètres, très utiles pour déterrer les tubercules du sol et faire face à son ennemi mortel : le tigre à dents de sabre. Autre animal tout aussi imposant et insolite, le glyptodon, une espèce tatou géant mesurant trois mètres et pesant une tonne. Le glyptodon peuplait les savanes à graminées de l'Amérique du sud, du pliocène à la fin du pléistocène. Le pléistocène (-2 Ma à -10 000 ans) fut à bien des égards une époque rude, caractérisée par une succession de changements climatiques. Dans les moments de froid les plus intenses, la glace recouvrait jusqu'à 30 % de la superficie des continents situés au nord de l'équateur. La transformation de l'eau des mers et des océans en glace entraîna un fort

abaissement de leurs niveaux. La première grande glaciation du quaternaire débuta il y a 2,4 millions d'années, en raison très probablement d'une baisse de l'intensité du rayonnement solaire. Plus au sud et donc à l'abri des sévices d'un hiver qui semblait ne jamais vouloir finir, *Homo habilis* et *Homo erectus* (-1,5 Ma) furent les premiers hominidés à peupler les savanes d'Afrique. *Homo habilis* ayant un régime alimentaire plus végétarien que carnivore et *Homo erectus* au contraire, un régime plus carnivore que végétarien, il fut peu probable que ces deux espèces aient eut à s'affronter pour assurer leur subsistance. Les os fossiles de ces deux espèces attestent pourtant qu'elles ont très certainement vécu sur les mêmes territoires pendant au moins 500 000 ans (Gallien, 2002). Finalement, *Homo habilis* s'éteignit en laissant à son cousin *Homo erectus* le soin de conquérir le monde. Les premières migrations humaines furent composées de petits groupes de chasseurs se déplaçant au gré des déplacements des troupeaux. *Homo erectus* domestiqua le feu (à partir de foyers engendrés par la foudre) et façonna des outils en silex. Il construisit aussi des abris sommaires qui le protégeaient des intempéries et des animaux sauvages. Son voyage à travers l'Afrique l'amena sur les terres d'Europe et d'Asie. Le temps passa, *Homo erectus* disparut à son tour et apparut *Homo sapiens*. Né il y a 150 000 ans, *Homo sapiens* devint très vite un chasseur accompli, ses qualités de fin stratège s'affinant au cours de son périple qui le conduisit à son tour des terres d'Afrique vers le sud de l'Europe et de l'Asie. Il y rencontra *Homo neandertalis* dont la lignée fut créée par *Homo erectus* établi sur ces terres depuis des milliers d'années. L'homme de Neandertal serait donc le produit européen de l'isolement génétique de l'*Homo erectus* venu des savanes d'Afrique. Les néandertaliens maîtrisaient le feu, taillaient la pierre pour fabriquer des outils, construisaient des huttes, chassaient le gros gibier et enterraient leurs morts dans des sépultures. Les paléontologistes ignorent si les néandertaliens communiquaient à l'aide d'un langage complexe mais les traces de leur passage en ce monde montrent, indubitablement, que ces hommes possédaient l'intelligence nécessaire à un langage parlé. La découverte dans le nord-ouest de l'Israël d'une partie singulière de crâne humain datant de 55 000 ans atteste que l'homme moderne et l'homme de Néandertal vivaient ensemble sur ce même territoire. L'étude du crâne fossile permit en effet de découvrir des caractéristiques anatomiques propres

aux deux groupes d'hominidés. *Homo sapiens* et *Homo neandertalis* auraient donc, pour certains d'entre eux, partagés les mêmes foyers et les mêmes couchés. En regard de cette découverte, il ne subsiste plus de doute que ces deux espèces étaient génétiquement proches l'une de l'autre (HersHKovitz *et al.*, 2015). Ceci explique aussi pourquoi les populations humaines en dehors de celles qui vivent en Afrique possèdent de 1,5 à 4% d'ADN néandertalien (Simonti *et al.*, 2016). L'homme de Néandertal était intelligent, adapté à son environnement, adroit de ses mains, pourvu d'un certain sens artistique et pourtant ce dernier disparut il y a de cela 30 000 ans. Il est fort probable qu'*Homo sapiens* devint un concurrent redoutable pour eux, tant au niveau de la chasse que de l'occupation des sols. La nature invasive de l'homme moderne doublée de sa faculté à vouloir tout maîtriser de son environnement fut probablement à l'origine de son extinction. *Homo sapiens* de son côté se divisa en quatre groupes distincts. Le premier groupe resta sur les territoires riverains de la mer Méditerranée, le deuxième groupe voyagea en direction des contrées froides du nord de l'Europe, le troisième groupe vers la Sibérie puis le quatrième en direction de l'est asiatique. Après avoir conquis l'Europe du nord, L'humanité s'aventura au-delà du détroit de Behring et colonisa le continent américain. En un peu moins de mille années, il atteignait la Terre de Feu située à l'extrémité australe de l'Amérique du sud (Leakey, 1995). *Homo sapiens* chassait les grands animaux tout en récoltant des baies et des tubercules. Leur activité de chasseur-cueilleur les entraînait de par le monde, à la rencontre d'horizons toujours plus éloignés. L'espace sécurisant des cavernes offrait le réconfort des longues veillées autour du feu. Les familles grandissaient et les clans se fortifiaient. L'intelligence plus acerbe de certains ouvrit des champs d'investigation jusque-là inexplorés. Le silex fut taillé de manière à créer des outils tranchants capables de dépecer les animaux, des racloirs pour équarrir les peaux, des hameçons en os pour pêcher les poissons. L'homme s'entoura d'armes de poings et de jets qui lui permirent de chasser le gros gibier. Le clan s'organisait, l'homme construisait, inventait, réfléchissait à des problématiques et des concepts nouveaux. Il découvrit un jour qu'en mélangeant des terres et des pigments de plantes de couleurs différentes, il lui était possible de fabriquer des peintures faciles à étaler sur le roc des cavernes. En se servant de ses mains comme d'un cache, il inventa les

premières peintures au pochoir. Son imagination ne se heurtait à aucune limite, il dessinait les hommes du clan pourchassant le mammoth et le cheval, les femmes et les enfants jouant au bord de la rivière. Il sculpta des bustes de femme, des têtes de cheval et de rennes dans l'os et l'ivoire. Le sens artistique de l'homme s'éveillait en même temps qu'il s'interrogeait sur la nature véritable de son monde... les plantes, les animaux, la Lune, les étoiles dans le ciel. Des plans de conquêtes prenaient formes sous les tentes en peaux de bêtes. Les petites huttes que le clan pouvait défaire et reconstruire à volonté facilitaient les voyages et la traque des troupeaux dans les plaines. La dernière période glaciaire du pléistocène (glaciation de Würm) s'échelonna sur 90 000 années (-100 000 ans à -10 000 ans). Elle vit disparaître l'homme de Neandertal ainsi qu'une grande partie de la mégafaune terrestre parmi lesquels appartenaient le mammoth, le rhinocéros laineux, l'ours des cavernes, le mégathérium, le glyptodon et le tigre à dents de sabre. En 1876, Alfred Russel Wallace (1823-1913), le co-inventeur de la théorie de l'évolution avec Charles Darwin avança que les bouleversements occasionnés par la succession des périodes glaciaires et des réchauffements climatiques étaient à l'origine de la disparition de certaines associations végétales, mettant ainsi en péril les grands herbivores et leurs prédateurs. Or Wallace changea rapidement d'avis. Il écrivit cette fois que les périodes glaciaires n'étaient peut-être pas les seules à avoir provoqué la chute des mastodontes et que l'homme y était très certainement pour beaucoup (Wallace, 1911). Au pléistocène, les hommes vivaient du produit de leur chasse. La traque incessante des grands herbivores combinée au climat polaire de l'époque finit par affaiblir les populations de mastodontes au point de provoquer leur disparition. Le pléistocène supérieur fut donc le théâtre d'une décimation qui a affecté l'ensemble de la mégafaune terrestre mondiale (la onzième d'après notre décompte). Les dix derniers millénaires virent également la banquise et les glaciers fondre en même temps que les mers et les océans se remirent à submerger de vastes bassins continentaux. L'holocène marqua le début d'une période interglaciaire au climat plus clément. Avant de poursuivre notre voyage en terre des hommes, arrêtons-nous un moment sur les concordances de temps qui se dégagent des textes scientifiques et de ceux écrits dans la Bible. Le Cénozoïque (= ère tertiaire) se scinde en trois périodes géologiques que sont le Paléogène, le Néogène et

le Quaternaire. Les innovations biologiques qui ont marqué cette ère se caractérisent par l'explosion des mammifères placentaires ainsi que l'apparition des premiers hominidés. Si nous prenons le sixième et dernier jour de la création orchestré par Dieu, nous nous apercevons que la Bible raconte la même histoire. Dieu créa les mammifères, l'homme et la femme au cours du sixième jour tout comme la science regroupa à l'intérieur du Cénozoïque, les radiations évolutives des mammifères et du genre *Homo*.

LA CRÉATION DE L'HOMME ET DE LA FEMME DANS LA BIBLE

Avant de nous intéresser à l'homme de l'Holocène, il est indispensable de voir ce que la Bible dit à propos de la genèse de l'homme et de la femme. Le sixième jour de sa création, Dieu dit : « *Faisons les êtres humains : qu'ils nous ressemblent vraiment ! Qu'ils soient les maîtres des poissons dans la mer, des oiseaux dans le ciel et sur la terre, des gros animaux et des petites bêtes qui se meuvent au ras du sol ! Dieu créa les êtres humains à sa propre ressemblance, il les créa homme et femme* » (Genèse 1, 26-27). Dieu engendra donc les humains en les façonnant à son image. Le plus insolite dans cette partie de la Genèse est que Dieu dit « *Qu'ils nous ressemblent vraiment !* ». Quel est le sens de ce *nous* venant de la part d'un Dieu unique ? Ce *Nous* contient ce que la Bible enseigne de plus profond dans son message, à savoir que Dieu est composé du Père (Dieu lui-même) de son fils Jésus-Christ et du Saint Esprit détenteur de l'amour universel du Père et du Fils. L'indissociable symbiose du Père et du Fils est donc clairement exprimée dès les premiers instants de la création de l'humanité, ce qui montre en retour, que l'humanité porte en elle les promesses du Père, du Fils et du Saint Esprit. Aucun autre être vivant sur Terre ne peut prétendre être l'égal de l'homme ou de la femme. Dieu a hissé l'humanité au rang de Maître de la planète pour qu'elle profite des richesses mises à sa disposition. Cette supériorité de l'homme sur l'animal est d'autant plus affirmée que Dieu bénit les hommes et les femmes en leur disant « *Ayez des enfants, devenez nombreux, peuplez toute la terre et dominez-la [...]* » (Genèse 1, 28). Sur ce point en particulier, l'humanité, qu'elle soit religieuse ou athée, a consciencieusement suivi les recommandations de Dieu. L'homme a conquis tous les environnements en exploitant tout ce qui

pouvait lui servir pour améliorer ses conditions de vie. Cette domination de l'homme sur l'animal est également mise en avant par un processus de création original. « *Le seigneur Dieu prit de la poussière du sol et en façonna un être humain. Puis il lui insuffla dans les narines le souffle de vie et cet homme devint un être vivant* » (Genèse 2, 7). Ainsi donc, aussitôt après lui avoir donné une apparence physique, Dieu insuffla dans les narines de l'homme le souffle de vie. Ce souffle de vie n'est rien d'autre que le souffle de Dieu qui contient l'intelligence, cette force qui permit à l'humanité de se hisser au rang d'espèce dominante. Si l'homme fut le produit d'un acte original qui voulut que celui-ci soit fait à l'image de son créateur, il existe toutefois à propos de la naissance de la femme, une ambiguïté difficile à dissiper. « *Alors le Seigneur Dieu fit tomber l'homme dans un profond sommeil. Il lui prit une côte et referma la chair à sa place. Avec cette côte le Seigneur fit une femme et la conduisit à l'homme* » (Genèse 2, 21-22). Ainsi Eve s'est vue formée à partir d'une simple côte d'Adam. Il est dit, et ce à juste titre, que ce passage de la Bible exacerbe le perpétuel et très critiqué sentiment de supériorité de l'homme envers la femme. Or, beaucoup de passages de la Bible et en particulier ceux de l'Ancien Testament ont été inspirés par les textes Sumériens. La création de la femme à partir d'une côte de l'homme appartient à l'une de ces inspirations sumériennes, si ce n'est que dans la Bible, cet emprunt a perdu tout le sens que celui-ci véhiculait dans les textes originaux. Dans le poème de Sumer, il est en effet question de l'histoire d'un homme nommé Enki qui souffre d'une côte malade. En sumérien, le mot « côte » se dit « *ti* ». La déesse créée pour soigner la côte malade d'Enki fut baptisée « *Ninti* », « *la dame de la côte* ». Or en sumérien, « *ti* » signifie également « *faire vivre* ». « *La dame de la côte* » est donc aussi « *la dame qui fait vivre* » ayant soigné la côte malade d'Enki. Bien entendu cette double signification inhérente au langage sumérien a perdu toute sa valeur littéraire une fois qu'elle fut reprise par les écrits hébraïques où les sens des mots « côte » et « vie » ne possédaient plus le moindre lien entre-eux (Kramer, 1957). Dieu rappelle toutefois en parlant de la femme « *Ah ! Cette fois, voici un autre moi-même* » (Genèse 2, 23). Cette simple petite phrase brise l'ambiguïté soulevée par les versets précédents en hissant la femme à un autre soi-même de Dieu, homme et femme étant définitivement égaux face au Divin.

L'ÉVOLUTION DE L'HUMANITÉ VUE PAR LA BIBLE

En science, il est désormais acquis qu'*Homo sapiens* est le dernier survivant d'une longue chaîne évolutive dont les racines s'ancrent dans un passé vieux de plusieurs millions d'années. *Homo sapiens* est peut-être le dernier né du genre *Homo* mais l'intelligence n'est certes pas apparue avec lui. La conscience d'appartenir à un monde vaste et complexe remonte probablement à notre ancêtre *Homo habilis*. Dans la Bible, la création de l'univers, de la Terre et de toutes les créatures vivantes n'est décrite que les premiers paragraphes d'une immense fresque racontée sur plus de mille pages. Et pourtant jamais si peu de mots n'ont soulevé autant de controverses dans autant de domaines différents. Alors que les scientifiques clament l'inexactitude des écrits de la Genèse, les chrétiens refusent toute idée d'évolution du règne vivant. Mais qu'est-ce qui permet aux scientifiques et aux religieux de dire que la Bible prône l'immuabilité des êtres vivants ? La Bible raconte que Dieu a créé les espèces vivantes or, dans aucun des versets que compte ce livre, il n'est dit que ces espèces restent éternellement identiques à elles mêmes. Au contraire, le passage de la Genèse qui décrit la naissance de l'homme et de la femme met en avant un processus d'évolution de la conscience humaine qui valu à Adam et Eve leur exclusion du jardin d'Eden. Reprenons le verset qui fait référence à la création de l'homme à partir de la matière inerte « *Le seigneur Dieu prit de la poussière du sol et en façonna un être humain. Puis il lui insuffla dans les narines le souffle de vie et cet homme devint un être vivant* » (Genèse 2, 7). Dieu insuffla la vie et l'intelligence à l'homme afin qu'il profite pleinement de toutes les richesses mises à sa disposition. « *Ensuite le Seigneur Dieu planta un jardin au pays d'Eden, là-bas vers l'est, pour y mettre l'homme qu'il avait façonné. Il fit pousser du sol toutes sortes d'arbres à l'aspect agréable et aux fruits délicieux. Il mit au centre du jardin l'arbre de la vie, et l'arbre de la connaissance de ce qui est bien ou mal* » (Genèse 2, 8-9). Les quatre mots « *là-bas vers l'est* » pointent-ils la direction des grandes savanes d'Afrique orientale où naquit et vécut *Homo habilis* ? Par la suite Dieu recommanda à l'homme qu'il avait créé « *Tu peux manger les fruits de n'importe quel arbre du jardin, sauf de l'arbre qui donne la connaissance de ce qui est bien ou mal. Le jour où tu en mangeras, tu mourras* » (Genèse

2, 16-17). Les versets suivants décrivent la création de la femme dont Dieu dit qu'elle était un autre lui-même. « *L'homme et la femme étaient tous deux nus, mais sans éprouver aucune gêne l'un devant l'autre* » (Genèse 2, 25). Ainsi Adam et Eve évoluaient dans le jardin d'Eden sans se soucier de leur nudité. Les véritables révélations de la Bible sur l'évolution de l'intelligence humaine apparaissent avec leur rencontre avec le serpent qui leur fit commettre à l'un et à l'autre, l'irréparable. « *Le serpent était le plus rusé de tous les animaux sauvages que le Seigneur avait faits. Il demanda à la femme : – Est-ce vrai que Dieu vous a dit : « Vous ne devez manger aucun fruit du jardin » ? La femme répondit au serpent. – Nous pouvons manger les fruits du jardin. Mais quant aux fruits de l'arbre qui est au centre du jardin, Dieu nous a dit : « Vous ne devez pas en manger, pas même y toucher, de peur d'en mourir* » (Genèse 3, 1-3). Le serpent de tromper Adam et Eve en leur répondant à son tour : « – *Pas du tout, vous ne mourrez pas. Mais Dieu le sait bien : dès que vous en aurez mangé, vous verrez les choses telles qu'elles sont, vous serez comme lui, capables de savoir ce qui est bien ou mal* » (Genèse 3, 4-5). À ce stade du récit de la Genèse, il est abordé sans détour la présence du malin dans le jardin d'Eden et de la propension de l'homme et de la femme à écouter le mal plutôt que le bien. « *Le soir, quand souffle la brise, l'homme et la femme entendirent le Seigneur se promener dans le jardin. Ils se cachèrent de lui parmi les arbres. Le Seigneur Dieu appela l'homme et lui demanda : - Où es-tu ? L'homme répondit : - Je t'ai entendu dans le jardin. J'ai eu peur, car je suis nu, et je me suis caché. – Qui t'as appris que tu étais nu, demanda le Seigneur Dieu ; aurais-tu goûté au fruit que je t'avais défendu de manger ?* » (Genèse 3, 9-11). Nous voici parvenu au cœur du message où se cache, sous une forme allégorique, l'évolution de l'espèce humaine. Dans son premier acte de création, Dieu avait créé un homme et une femme qui déambulaient dans le jardin d'Eden sans même s'apercevoir qu'ils étaient nus. Les premiers hommes et femmes, tels qu'ils sont décrits dans la littérature scientifique vivaient nus eux aussi dans les immenses savanes d'Afrique de l'est. Après avoir mangé le fruit de l'arbre de la connaissance, la femme autant que l'homme se virent dotés d'une intelligence nouvelle qui leur permit d'accéder à un stade plus élevé de réflexion et de s'apercevoir qu'ils vivaient nus. L'évolution de l'intelligence humaine se trouve donc

matérialisée dans la Bible par l'arbre de la connaissance. Ce stade nouveau de la réflexion humaine se traduit d'ailleurs dans la Genèse, par le fait que Dieu fournit à Adam et Eve des vêtements de peaux. Les livres d'histoire ne nous montrent-ils pas les premiers hommes des cavernes autour d'un feu, habillés de peaux de bêtes ? « *Le Seigneur fit à l'homme et à sa femme des vêtements de peaux de bête et les en habilla. Puis il se dit « Voilà que l'homme est devenu comme un Dieu, pour ce qui est de savoir ce qui est bien ou mal. Il faut l'empêcher maintenant d'atteindre aussi l'arbre de la vie, s'il en mangeait des fruits il vivrait indéfiniment* » (Genèse 3, 21-22). Ce verset sous-entend que si l'homme arrivait à percer les mystères de la vie, il parviendrait à un nouveau pallier d'intelligence capable de lui ouvrir cette fois les chemins de l'immortalité. L'histoire d'Adam et Eve raconte de manière très symbolique la longue aventure du genre humain. Le rédacteur de ce passage de la Genèse, dont la paternité en a été attribuée à Moïse, décrit Adam et Eve non pas comme le premier homme et la première dame de ce monde mais comme deux entités universelles au sein desquelles chacun d'entre nous peut se voir comme dans un miroir. La dichotomie qui perdure entre la science et la religion entraîne d'interminables discussions qui, malheureusement, n'aboutissent qu'à des désaccords. Les croyants disent des scientifiques qu'il leur faut beaucoup de foi pour accepter qu'un être aussi complexe que l'homme soit né des seules lois du hasard ! Selon le biologiste britannique Richard Dawkins, la religion enseigne aux gens à se satisfaire de pseudo-explications surnaturelles et triviales (Dawkins, 2006). Beaucoup plus sage est la pensée du microbiologiste français Louis Pasteur (1822-1895) qui proclame « *Un peu de science éloigne de Dieu, beaucoup de science y ramène* ». De même le physicien et industriel américain Thomas Edison (1847-1931), - celui-là même qui inventa l'ampoule électrique - affirma : « *J'admire tous les ingénieurs, mais surtout le plus grand d'entre eux : Dieu !* ». En Octobre 1927, Albert Einstein (1879-1955) lança une formule qui restera célèbre « *Dieu ne joue pas aux dés* ». Albert Einstein était en effet convaincu que l'univers n'était pas le fruit du hasard mais d'un ensemble de lois prédéterminées. Selon lui, notre connaissance de la nature est incomplète et l'homme se devra pour l'interpréter le plus justement possible, de tenir compte de ce qu'il appelle « *les variables cachées* ».

EN TERRE DES HOMMES

La révolution du néolithique a commencé au début de l'Holocène (-10 000 ans). Le Proche Orient fut la première région du monde où les chasseurs/cueilleurs devinrent progressivement des agriculteurs/éleveurs. Cette organisation nouvelle des peuplements humains s'échelonna sur près de 4000 ans. L'homme se mit à exploiter les environnements proches de son habitat, attribuant alors moins de temps à la chasse et la cueillette. L'agriculture est certainement l'une des innovations du néolithique qui a provoqué le plus de changements dans l'organisation des sociétés humaines. Le désir de travailler la terre pour y faire pousser des plantes était devenu possible avec le radoucissement du climat. Partout sur la planète, les hommes rivalisaient d'ingéniosité pour se nourrir. Les plaines fertiles devinrent des carrefours où les peuples se mélangeaient tout en se sédentarisant. Le polissage des outils en pierre permit d'obtenir des haches et des herminettes aux tranchants plus affûtés. Les outils se perfectionnèrent mais les communautés agricoles découvrirent assez vite que les végétaux seuls ne pouvaient pas suffire à une alimentation équilibrée. La domestication des espèces animales s'orienta alors, naturellement, vers les chèvres et les moutons sauvages. Vint par la suite la domestication du cochon et du bœuf ainsi que celle du cheval et du chameau (Helmer, 1992). Les animaux furent élevés pour leur viande mais aussi pour leur lait, leur laine et leur cuir. Les autres grandes avancées qui ont favorisé la sédentarisation des hommes tiennent dans la découverte du plâtre, de la brique et de la chaux. Ces matériaux permirent la construction de maisons plus grandes et plus résistantes. Les bâtiments se regroupèrent en hameaux puis en villages. Les constructions en dur remplacèrent les huttes de peaux des chasseurs-cueilleurs. L'une des plus anciennes agglomérations connues à ce jour est celle de Jéricho. Les maisons y furent édifiées avec des briques et les peintures murales retrouvées sur les murs datées de 9 000 ans (Aurenche, 1992). De nombreuses autres villes toutes aussi anciennes que Jéricho naquirent sur les rives de la mer Méditerranée. Leurs ruines parsèment encore les plaines désertiques de la basse Mésopotamie. La puissante cité d'Our qui, dans l'Ancien Testament, est décrite comme le lieu natif du patriarche Abram (Genèse 11 : 27-32). A Uruk vécut le roi Gilgamesh ; la

cité de Larsa aujourd'hui appelé Tell Senkerah en Irak fut pendant des siècles la capitale du royaume des Amorites. Les villes les plus anciennes de l'Égypte antique comme Thèbes, Louqsor et Karnac se virent enrichies de temples aussi imposants que majestueux. D'autres cités encore à moitié enfouies sous le sable des déserts n'ont livré qu'une partie de leurs secrets ; à l'exemple de la Grande Babylone qui pendant des siècles a rayonné de la grandeur de ses monuments, de la tour de Babel que le Dieu des Hébreux a détruit pour punir les hommes de leur arrogance, le palais de Nabuchodonosor et ses somptueux jardins suspendus. Des entrailles fécondes de ces puissantes cités émergèrent des courants de pensées nouvelles. Sur tous les continents, les hommes inventèrent l'écriture et les mathématiques, les philosophes dissertèrent des principes de la vie, les théologiens écrivirent des textes sacrés, les astronomes dressèrent des calendriers solaires et lunaires, les urbanistes construisirent des temples et des bâtiments publics, des thermes et des arènes pour les jeux. Les villes devinrent des lieux d'échange et de passage obligatoire pour une myriade de peuples venus des quatre points cardinaux. Les villes grandirent et les royaumes s'étendirent par delà les mers et les océans. Que ce soit en Asie, en Europe ou en Amérique, des empires naquirent puis disparurent en laissant de leur passage des centaines de villes toutes plus majestueuses les unes que les autres. La découverte du bronze (-3500 ans) provoqua une nouvelle et profonde mutation des sociétés du Néolithique. Le bronze fabriqué à partir du cuivre et de l'étain permit à l'homme de forger des outils nouveaux. Furent ainsi confectionnés des parures, des épées, des casques, des cuirasses et des instruments agricoles plus performants. Les agriculteurs dessinèrent des paysages plus ordonnés ; les fermes s'agrandirent, les champs et les enclos quadrillèrent la campagne. L'invention du bronze permit aussi de créer des armes nouvelles qui révolutionnèrent les techniques guerrières. Il devint possible de forger des épées longues et effilées, des boucliers, des lances, des fléaux ainsi que toute une kyrielle d'autres armes de poings et de jets. Or la métallurgie prit un nouvel et fantastique essor avec la maîtrise d'un métal plus robuste : le fer. Le point de fusion du fer étant de 1500° C, il demandait pour être fondu et travaillé, la construction de forges plus perfectionnées. Au début de l'âge du fer, ce métal permit la fabrication d'objets précieux mais il devint vite

par la suite le matériau le plus utilisé dans tous les domaines. Or d'invention en invention, l'humanité s'enferma progressivement entre les murs d'un monde artificiel qui l'éloigna de ses racines. Les hommes édifièrent des gratte-ciel hauts de plusieurs centaines de mètres, ces derniers se faisant eux-mêmes les piliers de métropoles regroupant des dizaines de millions d'habitants. Face à cette lente et inexorable explosion démographique, l'humanité ne possédait plus d'autre choix que d'extraire du sol de la planète tout ce qui pouvait être exploité pour assurer sa survie. De même l'agriculture agro-pastorale se transforma en une machine à produire de tout et n'importe quoi. L'industrialisation du monde agricole provoqua une multitude d'effets collatéraux sur les environnements naturels. Nous assistons aujourd'hui à une douzième extinction du monde du vivant (la sixième selon la nomenclature conventionnelle). Voyons maintenant les raisons de cette extinction et les dangers que l'humanité encourt face à cette nouvelle et irréversible érosion de la biodiversité.

LA DOUZIEME EXTINCTION

Durant les quatre milliards et demi d'années que compte l'histoire de la Terre, douze extinctions biologiques ont ébranlé les fondements de la vie (voir figure 3). Les éruptions volcaniques, les bouleversements climatiques et la chute de météorites figurent parmi les causes les plus probables de ces grands chavirements. Après chacune de ces décimations, la vie a mis beaucoup de temps à se reconstituer mais il n'en demeure pas moins qu'une espèce disparue l'est à jamais et représente une perte inestimable. La communauté scientifique s'accorde à dire que nous nous dirigeons actuellement vers un appauvrissement de la biodiversité dont l'ampleur s'assimile à une nouvelle extinction de masse. Or, à la différence de toutes celles passées, c'est l'espèce humaine qui se trouve à l'origine de cette douzième extinction. Tout a commencé au 18^{ème} siècle, une période riche en découvertes scientifiques et techniques. L'invention de la machine à vapeur a révolutionné le monde de l'industrie. Avec l'inépuisable source d'énergie qu'apportait le charbon, la métallurgie connut un développement spectaculaire. Il fallait du fer pour répondre aux besoins du monde moderne, du charbon pour alimenter les hauts fourneaux et les machines à vapeur et

donc, toujours plus de houille à extraire du fond des mines. Le 19^{ème} siècle fut à son tour celui du pétrole. Poussée par la demande forte des industries et en particulier celle du monde automobile, le pétrole devint vite et ce, dès le début du 20^{ème} siècle, le moteur de l'économie mondiale. En plus des carburants liquides et du gaz, l'industrie pétrolière fabriqua une multitude de produits dérivés au nombre desquels se rangent les textiles synthétiques et les matières plastiques. Les gisements de charbon et de pétrole sont le résultat de centaines de millions d'années d'amoncellement de matières végétales et animales. Ces gisements datent du Carbonifère (-360 Ma), période pendant laquelle la Pangée se trouvait entièrement recouverte de forêts marécageuses. L'homme extrait le charbon du sol depuis 250 ans et le pétrole depuis un peu plus de 100 ans maintenant. Le réchauffement climatique qui préoccupe tant les scientifiques résulte de la combustion de ces deux énergies fossiles. Tous processus de combustion dégagent du gaz carbonique et le charbon autant que le pétrole en libèrent beaucoup. Ce que Mère nature a patiemment accumulé dans ses sols durant des centaines de millions d'années, l'homme l'a en grande partie consommé en deux siècles et demi à peine. Du 18^{ème} siècle jusqu'à nos jours, les concentrations atmosphériques en dioxyde de carbone (CO_2) ont augmenté de 40%, le méthane (CH_4) de 150% et l'oxyde nitreux (N_2O) de 20% (IPCC, 2013). Le réchauffement du climat se traduit à l'échelle du globe par une hausse des températures de l'atmosphère et des océans, ce qui provoque une fonte massive des glaciers et des banquises. Avec la fonte des calottes polaires, le niveau des mers et des océans s'élève lentement mais inexorablement. Le réchauffement de la biosphère se traduit par un processus d'évaporation plus intense dont les conséquences immédiates entraînent des périodes de sécheresse d'un côté de la planète tandis que l'autre, des pluies accompagnées de phénomènes météorologiques d'une rare intensité ravagent les villes et les campagnes. L'agriculture intensive telle qu'est pratiquée de nos jours est elle aussi génératrice de pollutions. La destruction des forêts occasionne de même des déséquilibres écologiques graves. Les espaces forestiers succombent sous l'assaut de machines puissantes qui labourent, déchiquent les arbres et lacèrent le sol. L'exemple le plus scandaleux de ce consumérisme forcené étant la destruction des forêts

denses de Bornéo pour y planter des milliers d'hectares de palmiers à huile. Dans ces forêts pluviales sacrifiées sur l'autel du rendement se trouve l'un des derniers refuges des orangs-outans. Beaucoup de ces primates ont été décimés par des incendies volontairement allumés pour nettoyer les forêts. Un drame similaire affecte aussi l'immensité amazonienne. L'Amazonie totalise 60% de la surface totale des forêts. Sa faune et sa flore jouent un rôle écologique important, les arbres surtout qui transforment le gaz carbonique en oxygène. Les arbres travaillent dans le silence des forêts profondes pour que la vie à l'échelon planétaire se développe. Plus d'arbres dans les forêts, plus d'oxygène à respirer et la vie s'en va à trépas. Or l'état de santé du « *poumon de la planète* » montre depuis trois à quatre décennies, des signes d'essoufflement. Malgré les protestations des associations écologiques et le cri d'alerte de nombreux scientifiques, la déforestation de la forêt amazonienne ne cesse de s'accélérer. L'exploitation du bois associée au défrichement agricole demeure la cause principale de ce saccage. Ainsi, des forêts denses de Bornéo à celles du bassin amazonien en passant par les massifs forestiers d'Afrique, d'Europe et d'Asie, l'homme détruit la nature pour y planter des palmiers à huile, du soja, du maïs, du blé, de la canne à sucre... ces cultures consomment beaucoup d'eau, des fertilisants et des pesticides qui, en plus de décimer la faune utile à l'homme polluent de vastes écosystèmes. Face à cet état des lieux quelque peu alarmant, il est désormais plus facile de comprendre le comment et le pourquoi de cette douzième décimation. Les exemples d'extinctions liés à la seule présence de l'homme dans les milieux naturels se sont multipliés ces mille dernières années. Lorsque les Maoris ont colonisé la Nouvelle Zélande, vivait sur ces terres australes un oiseau de plus de trois mètres de haut : le moa. Les Maoris ont chassé les moas pour en consommer la chair mais aussi utiliser leurs plumes pour la confection de parures. Les moas disparurent de Nouvelle Zélande il y a quatre cents ans. Sous d'autres cieux, les dodos des îles Maurice et de la Réunion ont été exterminés par les navigateurs mais aussi par les chats, chiens, porcs et rats introduits par eux dans les deux îles. De même, l'æpyornis de Madagascar qui mesurait trois mètres et pesait une demi-tonne n'a pas survécu à l'arrivée des colons. La chasse et le ramassage des œufs combinés à la déforestation lui ont été fatals au début du 18^{ème} siècle. La disparition de ces oiseaux nous montre

combien les écosystèmes sont fragiles et supportent mal l'introduction de nouvelles espèces. Les extinctions du moa, du dodo et de l'æpyornis n'ont malheureusement pas beaucoup infléchi le comportement de l'homme à ce sujet. L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) affirme que 44 837 espèces animales et végétales sont menacées d'extinction et que 804 espèces ont définitivement disparues de la biodiversité terrestre (Vié *et al.*, 2009). Le thon rouge de la Méditerranée est en passe de disparaître en raison d'une surpêche. En Chine, l'ours à collier est capturé, emprisonné puis torturé afin d'en extraire la bile qui paraît-il, possède des vertus pharmaceutiques. Dans l'Arctique, l'ours blanc est menacé à cause du réchauffement climatique. Le rhinocéros blanc d'Afrique est massacré pour vendre à prix d'or la corne sur les marchés asiatiques. Nous pourrions citer également parmi les espèces sur le point de disparaître, le tigre de Sibérie, le putois à pieds noirs, La gazelle de Przewalski, le pigeon impérial des Marquises, le Hocco à pierre... la liste est longue et s'allonge tous les jours. Comme si la Bible avait prévu depuis longtemps ce long cycle de destruction liée à l'homme, celle-ci nous dit « *La terre est en deuil, elle tombe en ruine. Le monde se délabre, il tombe en ruine. Le ciel aussi se dégrade en même temps que la terre. La terre a été souillée sous les pieds de ses habitants [...]* » (Ésaïe 24, 4-5). Le plus inquiétant dans l'histoire est de constater que l'homme, dernier acteur arrivé sur la scène de l'évolution, soit celui qui justement ait provoqué cette douzième extinction. Une grande première dans l'histoire de la Terre que le grand Charles Darwin lui-même en son époque, aurait eu bien du mal à imaginer.

CHAPITRE 6

LA VIE PLURIELLE

Même si la science et les religions ne s'opposent plus aussi violemment que par le passé, il n'en reste pas moins que des tensions subsistent encore de nos jours. Des deux côtés du mur, les idéologies s'affrontent plus ou moins violemment selon les cultures ; certaines s'accordant à voir une certaine unité entre les deux disciplines alors que d'autres, au contraire, ne se focalisent que sur les différences. L'histoire nous le rappelle sans arrêt, nombreux furent les hommes de science animés d'une foi indéfectible en Dieu et, inversement, tout aussi nombreux fut le nombre de religieux dotés d'une inébranlable rigueur scientifique. Une universalité de la pensée que je vous invite maintenant de découvrir dans un espace de réflexion totalement ouvert à la discussion.

L'ÉVOLUTION DIFFÉRENTIELLE DU VIVANT

À ce stade du livre, il n'est plus risqué de dire que l'évolution de la vie sur Terre n'a pas été et ne sera jamais un long fleuve tranquille. Nous l'avons découvert tout au long de ce livre, notre planète est passée par de nombreuses et longues périodes d'équilibres entrecoupées de brefs et brutaux changements. Cette dynamique explique, du moins en partie, la disparition puis l'apparition de nouvelles espèces. Les douze décimations que nous avons inventoriées du Précambrien à nos jours ont chacune éliminé une partie non négligeable de la biodiversité du moment. Les espèces survivantes à ces extinctions n'ont d'ailleurs jamais été de celles qui possédaient les caractères anatomiques les plus performantes. Cette observation assez constante dans le temps fit dire à Stephen Jay Gould que si l'homme était capable de relancer plusieurs fois de suite le film de l'évolution, celui-ci prendrait à chaque fois un chemin différent (Gould, 1992). Selon lui, l'évolution s'apparenterait à une loterie qui décime les espèces de manière aléatoire. Ces décimations aussi soudaines qu'hasardeuses n'expliquent toutefois pas pourquoi la vie sur notre planète semble avoir déjoué, et ce, à plusieurs reprises, les lois les plus élémentaires de la biologie. Le Précambrien et le Cambrien virent apparaître et disparaître

trois phylums, tous les trois radicalement différents les uns des autres. Les traces fossiles du premier phylum (-2100 Ma) découvertes au Gabon révèlent des créatures déjà complexes dans leur organisation anatomique. Le deuxième phylum, appelée faune édacarienne apparut un milliard et demi d'années plus tard. Les spécialistes de ces deux lignées précambriennes s'accordent à dire que chacune a émergé dans les eaux de l'océan primitif sans qu'il y ait eu entre elles, le plus petit ancêtre commun. La faune d'Édiacara disparut à son tour sans laisser de descendance. Quinze millions d'années plus tard surgit un troisième phylum (faune cambrienne) composé de tout un ensemble de créatures très différentes les unes des autres. Peu d'élus nés de cette explosion cambrienne survivront pour engendrer les embranchements que nous connaissons aujourd'hui. La grande énigme qui entoure la naissance de ces trois phylums réside dans le fait que chacun de ces groupements est apparu sans qu'il y ait eu entre eux, le plus petit fil conducteur. L'apparition brutale d'une forme de vie pluricellulaire relève déjà de la prouesse ! Que dire alors quand les fossiles nous montrent que trois formes de vie radicalement différentes se sont succédées sur un milliard cinq cents millions d'années. Les mécanismes évolutifs impliqués dans ces trois explosions biologiques restent un défi pour la communauté scientifique. Comment une telle diversité du vivant a-t-elle pu émerger aussi rapidement et indépendamment les unes des autres dans le cadre d'une évolution gradualiste ? La complexité croissante du vivant s'est exprimée au niveau des anatomies et des interactions physiologiques qui se sont établies entre les différents organes. Toutes les créatures animales, de la plus simple à la plus compliquée, demeurent *grosso modo* construites selon le même modèle. L'animal mange et son estomac broie et dissout les matières ingérées. Les intestins jouent le rôle de filtres qui laissent passer les molécules indispensables au bon fonctionnement des cellules. Les poumons et les branchies extraient l'oxygène du milieu ambiant, les organes génitaux permettent à l'espèce d'assurer leur descendance, le système nerveux coordonne l'ensemble des activités biologiques... les organes interconnectés les uns aux autres fonctionnent de concert pour que l'organisme accomplisse de manière quasi-simultanée, la multitude des réactions physiologiques indispensables à sa survie. Du ver de terre à l'homme, les organes pourtant très différents dans leurs formes et leurs dispositions assurent

fondamentalement les mêmes fonctions. La diversité biologique ne s'exprime donc en réalité qu'à travers une infinité de formes et de dispositions spatiales des organes. Sur le plan de la physiologie, cette diversité disparaît au profit d'une unicité quasi-universelle. L'homme tout comme l'ensemble des créatures de ce monde vivent grâce à des réactions métaboliques qui ne diffèrent que légèrement d'un être à un autre. Que ce soient la synthèse des protéines, des glucides ou des lipides, la fabrication des ARN, la réplication de l'ADN, la respiration cellulaire, la photosynthèse... toutes ces réactions métaboliques se déroulent selon des principes fondateurs mis en place aux origines de la vie. Il semblerait donc que le métabolisme d'une cellule ait été conçu pratiquement parfait au premier essai et que l'évolution n'ait eu par la suite, pas grand chose à enlever ni à ajouter. L'accession à la complexité ne génère donc pas des métabolismes plus performants. La photosynthèse est un exemple d'adaptation difficilement égalable en matière d'exploitation de l'énergie lumineuse ; des cyanobactéries apparues voici 3,5 milliards d'années aux plantes à fleurs nées il y a seulement 144 millions d'années, les réactions biochimiques qui caractérisent la photosynthèse demeurent les mêmes (Lance, 2013). De même pour la synthèse des protéines, leurs processus de fabrication ne diffèrent pas entre les mammifères et les bactéries. Rappelons simplement qu'une protéine est un assemblage d'acides aminés dont les plans se trouvent inscrits dans l'ADN. Une protéine mutée ne peut être fabriquée que d'après les informations contenues à l'intérieur d'un gène lui-même mutant. Cependant, il ne faut pas que la mutation du gène génère une protéine trop aléatoire dans la séquence de ses acides aminés. La molécule se doit en effet de conserver ses propriétés biologiques malgré sa mutation ; une protéine non fonctionnelle entraînant un dysfonctionnement qui mène à la mort de l'individu. Face à des restrictions moléculaires aussi sévères, nombre de mutations létales ont dû être à l'origine de la disparition de beaucoup d'espèces. Ce constat nous amène à nous poser la question suivante ! Qu'est ce qui pousse la vie à la complexité, sachant que la cellule vivante d'aujourd'hui fonctionne selon les mêmes processus biochimiques d'il y a trois milliards d'années ? Nos connaissances en biologie ne permettent pas de répondre à cette question. Nous pourrions tout au plus concevoir que l'évolution de la vie sur Terre obéit à un ordre préétabli mis

en place au moment de la naissance de l'univers. Cette définition déterministe de l'évolution résoudrait l'énigme des trois phylums apparus entre le Précambrien et le Cambrien. Si chaque épisode de la vie sur Terre se trouve ainsi inscrit dans le « grand livre » de l'univers, l'homme lui-même ne serait plus le produit d'une évolution hasardeuse, mais bel et bien le fruit d'une volonté déterminée. Vu sous cet angle, certains diront que le visage de Dieu apparaît en filigrane dans la texture de l'univers. Dans la Bible, Dieu se présente comme étant partie intégrante du passé, du présent et du futur. « *Je suis l'alpha et l'oméga, dit le Seigneur Dieu, celui qui est, qui était, et qui vient, le Tout Puissant* » (Apocalypse 1,8). Croire en Dieu, c'est donc en quelque sorte adhérer à une forme de déterminisme où tous les événements du monde ont été décidés par lui.

« JE PENSE DONC JE SUIS »

Cette citation est extraite de l'œuvre « *Discours de la méthode* » écrite par le mathématicien, physicien et philosophe français René Descartes (1596-1650) (Descartes, 1637). À travers cette petite phrase, Descartes chercha à construire une passerelle de l'esprit à partir de laquelle l'homme accéderait aux vérités de l'univers. La conscience, l'intelligence, l'esprit, l'âme... autant de qualificatifs différents pour exprimer un processus que même l'homme du 21^{ème} siècle a encore du mal à comprendre. Pour les scientifiques, la conscience est de nature biologique. Pour les religieux, l'homme ayant été créé à l'image de Dieu, il a reçu l'intelligence du créateur universel. Il est d'ailleurs écrit dans la Bible : « *La conscience est la lampe que le Seigneur donne à l'homme pour éclairer les profondeurs de son être* » (Proverbes 20, 27). Autrement dit, l'espèce humaine posséderait en elle, l'intelligence nécessaire pour trouver sa place dans l'univers. *Homo sapiens* est en effet le seul être vivant qui cherche à découvrir la raison de son existence sur Terre. Pour ceux qui croient en Dieu, la réponse est facile à trouver dans la mesure où si nous vivons, c'est grâce à son intervention. Pour les scientifiques, la réponse est moins évidente. Des commencements de la vie à notre époque moderne, des millions de questions reposent dans les brumes d'un passé vieux de 4,5 milliards d'années. Certaines de ces

questions ont acquis une réponse, une multitude d'autres en revanche n'en recevrons probablement jamais. Les fossiles dispersés dans les strates géologiques nous montrent que la vie sur Terre a été soumise à des phénomènes répétés de décimation, obligeant le monde du vivant à repartir sur une biodiversité à chaque fois affaiblie. Or malgré cette évolution en dents de scie, la vie n'a pas cessé de tendre vers la perfection. Le plus grand dilemme pour les scientifiques est de justement s'expliquer comment cette perfection a pu se magnifier dans un environnement qui a tout fait pour l'empêcher d'éclore. Nous avons développé dans les paragraphes précédents le différentiel évolutif qui existe entre anatomies et physiologie. Malgré des morphologies et des anatomies très différentes, nous avons vu que les animaux et les plantes répondent à une physiologie quasi-universelle. Le singe vit dans les arbres alors que l'homme construit des villes. La génomique a révélé que 98% de l'ADN du singe et de l'homme est semblable et pourtant le fossé cognitif qui les sépare est abyssal. Le singe est limité dans sa réflexion alors que l'espèce humaine possède une intelligence dont il lui est difficile d'en préciser les frontières. Le cerveau de l'homme est constitué de 100 milliards de neurones environ. Alors que le cerveau des animaux vertébrés représente la masse nerveuse centrale de l'organisme ; chez les invertébrés, les fonctions sont réparties dans des ganglions disséminés le long du corps. Or que ce soit chez les invertébrés ou les vertébrés, un neurone fonctionne selon les mêmes principes physiologiques qui, au final, génère l'activité électrique permettant aux êtres vivants de se mouvoir et de sentir leur environnement. Chez certains vertébrés supérieurs, le rôle du cerveau est double car en plus de ses activités neurophysiologiques, il gouverne l'ensemble des activités cognitives. Celui-ci se trouve être en effet le siège de l'intelligence, de la mémoire, de la pensée, de la sensibilité et des émotions. La vie aux sens anatomique et physiologique du terme a toujours été soumise aux dures lois de l'évolution. Ces lois de l'évolution peuvent-elles avoir la même emprise sur l'intelligence ? De l'*Homo habilis* vivant dans les savanes africaines du pliocène (-2 Ma) à l'*Homo sapiens*, il est indubitable que l'intelligence humaine est passée par des stades successifs d'évolution. Les psychologues et les psychiatres chiffrent cette intelligence en faisant usage du test de coefficient intellectuel « *QI* » qui, de façon très hasardeuse, ne mesure que

l'aptitude d'une personne à résoudre un type de problème bien déterminé. L'intelligence représente bien plus qu'une réponse unique à une suite de chiffres ou de lettres. L'intelligence se compose de l'esprit logique mais aussi de l'imagination, la sensibilité ainsi que de la faculté d'associer des idées et des faits. En prenant en compte toutes ces parties dont certaines ne sont tout simplement pas quantifiables - comme l'imagination et la sensibilité - il devient vite évident que de donner un chiffre à l'intelligence relève d'un primitivisme quasi-reptilien. Les recherches conduites sur le comportement des cétacés et des grands singes ont conduit les biologistes à ne plus douter des capacités cognitives de ces animaux. Apprentissage, inventivité, mais aussi fourberie et mensonge les caractérisent. Le cerveau d'un dauphin adulte de deux mètres cinquante de long pèse 1700 grammes (g) en moyenne. Celui d'un homme d'un mètre quatre-vingt, 1500 g, celui d'un chimpanzé d'un mètre quarante, 340 g, le cerveau d'un éléphant pèse 6000 g, celui d'un cachalot 9000 g et celui d'une souris 0,4 g. L'énumération de ces quelques chiffres nous montre combien l'intelligence n'est pas dépendante de la masse du cerveau. Quel est donc ce secret enfoui dans le cerveau des femmes et des hommes ? Malgré les découvertes les plus récentes en neurobiologie, personne ne peut prétendre détenir la vérité. Dans la Bible, le roi David proclame dans le livre des psaumes « *Du haut du ciel le Seigneur plonge son regard, il aperçoit tous les humains. De l'endroit où il siège, il observe tous les habitants de la Terre. Lui qui leur a créé à tous intelligence et volonté, il prend garde à ce qu'ils font* » (Psaumes 33, 13-15). Pour les déterministes, la naissance de l'homme appartient à cette suite d'évènements dont la programmation remonte aux origines de l'univers. Homme déterministe, Homme du hasard ou bien Homme créé à l'image de Dieu, il existe là trois différentes formes de pensées que je vous propose maintenant de confronter selon deux modes de réflexion très différents l'un de l'autre : la pensée éclatée puis son contraire : la pensée unifiée.

LE DISCOURS DE LA PENSÉE ECLATÉE

La science et la religion ont toujours été les sœurs ennemies de la pensée humaine. Cette animosité réciproque a atteint son apogée durant les heures

les plus sombres du Moyen-âge. Braver les dogmes de l'église aboutissait à un procès sommaire dont l'issue menait à une mort certaine. En nos temps plus modernes où la libre expression participe normalement au ciment de la démocratie, force est de constater que de multiples tensions subsistent encore entre les scientifiques et les religieux. Pragmatique, l'homme de science est comme Saint Thomas, il ne croit que ce qu'il voit. Les personnes qui croient en Dieu demeurent de leur côté animées par une foi inébranlable reposant sur le caractère sacré des textes bibliques. Si certains hommes de sciences et/ou de foi encouragent un échange constructif des idées, il existe néanmoins au sein des deux factions rivales, une minorité agressive qui prend plaisir à entretenir la discorde. Pour mesurer les ravages occasionnés par un tel refus du dialogue, arrêtons-nous un moment sur les idées de certains hommes dont le radicalisme n'eut d'autre effet que d'attiser la division. Dans son livre intitulé « *Le gène égoïste* », Richard Dawkins analyse la sélection naturelle des espèces au niveau du gène, prétendant que ce dernier assure sa propre duplication, égoïstement et sans se soucier des autres gènes (Dawkins, 1976). Toutes les créatures vivantes qui peuplent la Terre ne représenteraient donc pour ce biologiste, que des matrices mortelles n'œuvrant que pour la survie de ces prétendus gènes immortels. Limiter trois milliards d'années d'évolution à l'expression de simples gènes égoïstes sans tenir compte de la complexité anatomique, métabolique et psychologique des êtres vivants, c'est tout bonnement renier l'évolution elle-même. En souscrivant à cette idée réductrice du gène égoïste, l'idée même de l'accession à la complexité devient un non sens. Puisque seuls certains gènes, plus agressifs que d'autres, se retrouvent invariablement transmis de créatures à créatures, comment se fait-il que l'homme ait pu voir le jour et, qui plus est, accéder à la conscience ? Richard Dawkins pense que la sélection des organismes ne l'emporte jamais sur la sélection des gènes. Cette façon d'appréhender l'évolution ne tient pas compte des épisodes d'extinctions massives et de leurs conséquences sur le monde du vivant. Les dinosaures possédaient très probablement les gènes égoïstes les plus aptes à survivre puisque leur règne s'est échelonné sur près de 160 millions d'années. Or ces gènes égoïstes, si agressifs soient-ils, n'ont pas fait le poids face à l'écrasement sur Terre d'une météorite de dix kilomètres de diamètre. En 2006, Richard Dawkins publie un nouvel ouvrage où il s'en prend cette

fois à Dieu lui-même (Dawkins, 2006) et de surenchérir que la foi n'est fondée sur aucune preuve scientifique ; qu'elle représenterait même selon lui, l'un des plus grands fléaux qu'ait eu à subir l'humanité. Non sans une certaine ironie, certaines églises lui firent remarquer qu'une approche aussi réductrice de la religion s'apparente fort dans le principe, aux discours anti-scientifiques des mouvements religieux les plus radicaux. Des sociétés essentiellement centrées sur les dogmes scientifiques ont toujours représenté un danger pour l'humanité. Rappelons-nous de l'URSS du temps du Stalinisme où la science et le hasard ne toléraient aucune autre forme d'expression intellectuelle. Les lieux de cultes furent transformés, détruits ou fermés. Les scientifiques qui ouvrirent la voie de la physique déterministe furent déportés dans des goulags en Sibérie ; dans les villes et les campagnes, le pouvoir en place appelait le peuple à dénoncer le peuple. Souvenons-nous aussi de l'établissement du troisième Reich en Allemagne par Adolf Hitler. Juste avant de déclencher la seconde guerre mondiale, celui-ci proclamait au monde que le nazisme reposait sur une idéologie laïque s'appuyant sur la science. Situées à l'opposé du curseur, sévissent des formations religieuses toutes aussi dangereuses qui réfutent toute idée d'évolution biologique. Les plus fervents adeptes de ces groupuscules radicaux déchiffrent les versets de la Bible comme le ferait un ordinateur obéissant à un logiciel. L'interprétation littérale des textes de la Genèse s'appuie sur le fait que ces derniers ont été dictés par Dieu lui-même. Selon cette interprétation, le ciel, les océans et les continents auraient été créés il y a 6 000 ans ; de même, Adam et Ève auraient vécu et péché dans le jardin d'Éden à la suite de quoi ils devinrent père et mère de toute l'humanité. En regard des connaissances accumulées de nos jours en biologie, difficile d'imaginer que l'humanité toute entière ait pu survivre et évoluer à partir de l'information génétique contenue dans deux génomes seuls. Un tel entonnoir génétique se traduirait par un effondrement de la variabilité génétique qui, à la longue, entraînerait la disparition de l'espèce (Frankham, 2005). Qu'il soit donc bâti sur des fondations scientifiques ou religieuses, le radicalisme intellectuel a de tous temps été à l'origine de l'étouffement des échanges d'idées. Alors face à cette situation indubitablement stérile pour l'homme et le monde qu'il projette de bâtir, allons maintenant à la rencontre de la pensée unifiée et de ce que cette dernière amènerait de constructif dans

notre façon de percevoir le monde.

LE DISCOURS DE LA PENSÉE UNIFIÉE

Selon les principes évolutionnistes en vigueur, les biologistes prétendent que l'extraordinaire biodiversité de notre planète découle d'un unique et microscopique ancêtre du Précambrien. Les théologiens affirment que la vie sur Terre est née de l'acte de création délibéré d'un être supérieur et omnipotent. Certains mathématiciens et physiciens très avancés dans l'exercice de leur art avancent de leur côté, que le hasard si cher aux évolutionnistes apparaît dans leurs équations comme un phénomène programmé. La question qui se pose désormais est de savoir comment unifier ces trois grands domaines de l'esprit à l'intérieur d'une même équation. Tout au long de ce livre, j'ai tenté de répondre à certaines questions en essayant de concilier science, religion et déterminisme. L'histoire nous enseigne que des hommes de science prestigieux croyaient en un Dieu unique, créateur de l'univers. Les astronomes et physiciens Nicolas Copernic (1473-1543), Galilée (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630) Isaac Newton (1643-1727), le paléontologiste, Georges Cuvier (1769-1832) ainsi que le systématicien Carl Von Linné (1707-1778), tous ont exercé leurs métiers de scientifiques en étant convaincus que c'était Dieu le grand architecte du monde. Albert Einstein (1879-1955) énonça cette phrase emplie de foi : « *La science sans religion est boiteuse, la religion sans science est aveugle* ». L'adversaire le plus redoutable que l'église ait eu à affronter fut, comble de l'ironie, un homme ayant été éduqué dans l'un des plus prestigieux établissements religieux du monde. Né en 1809 à Scherewsbury en Angleterre, Charles Darwin fut le fils du médecin Robert Darwin et de Suzanne Wedgwood. Pendant son enfance, il collectionna les coquillages, les insectes et les œufs d'oiseaux. Bien que n'ayant pas été un élève très doué pour les études, il montra toutefois une passion certaine pour les sciences naturelles. À l'âge de 16 ans, Charles Darwin commença des études de médecine à l'université d'Édimbourg qu'il abandonna pour se consacrer à la théologie. Darwin renonça également à son enseignement religieux car il éprouvait tout simplement l'impression de perdre son temps. En 1831, il obtint une place à bord du voilier *Beagle*

affrété par l'amirauté britannique pour effectuer des relevés cartographiques autour du monde. Pendant le long voyage d'exploration qui mena Darwin jusqu'en Amérique du sud, il étudia la géologie des îles et des continents. Il apporta une attention toute particulière aux fossiles exhumés du sol. En 1835, l'exploration des îles Galápagos le gratifia des moments les plus intenses de son aventure. Il rentra chez lui en Angleterre en octobre 1836. Charles Darwin se mit alors à étudier les spécimens biologiques et les fossiles ramassés pendant son voyage. Son livre « *L'origine des espèces* » fut publié le 24 octobre 1859. Malgré le succès que connut sa théorie de l'évolution du vivant par la sélection naturelle, le biologiste britannique s'interrogea jusqu'à sa mort sur le mystère que représentait le manque de continuité entre les espèces fossiles. Car il existait bien d'immenses trous entre les séries fossiles, comme si l'évolution avait progressé par à coup ! Sa théorie n'expliquait pas ces « *vides* » car les lois de la sélection naturelle qu'il avait lui même érigées se trouvaient indissociablement liées à des changements biologiques lents et progressifs. La Genèse décrite dans la Bible ramène à six jours l'apparition puis l'évolution de la vie sur Terre depuis le « *souffle de Dieu* » (Genèse 1, 2) jusqu'à l'apparition de l'homme : « *Faisons les êtres humains : qu'ils nous ressemblent vraiment ! [...]* » (Genèse 1, 26). La Genèse énonce les grandes étapes de l'évolution du monde et de la vie : de la formation des continents dans l'océan primordial « *Que les eaux qui sont au-dessous du ciel se rassemblent en un seul lieu unique pour que les continents paraissent* » (Genèse 1,9), la naissance des premières formes de vie « *Que les eaux grouillent d'une foule d'êtres vivants* » (Genèse 1,20) à l'apparition des créatures plus complexes « *Que la terre produise toutes les espèces de bêtes : animaux domestiques, petites bêtes et animaux sauvages de chaque espèce* » (Genèse 1,24). Les déterministes avancent que l'expansion de l'univers répondrait à un code où tous les événements physiques et biologiques auraient été programmés au moment du big-bang (Bogdanov & Bogdanov 2013). La Bible ne révèle-elle pas à ce sujet un verset d'essence déterministe : « *Au commencement, lorsque Dieu créa le monde, la Parole existait déjà ; celui qui est la Parole était avec Dieu et il était Dieu. Il était donc avec Dieu au commencement. Dieu a fait toutes choses par lui ; rien de ce qui existe n'a été fait sans lui* » (Jean 1, 1-3). Cette « *Parole* » mise en avant par l'apôtre Jean ressemble à

s'y méprendre aux idées avancées par certains des plus grands esprits de notre siècle. L'informaticien Leonid Levin démontra en effet que les lois physiques qui gouvernent notre univers s'alimentent à partir d'un terreau mathématique inaccessible à notre réalité (Levin, 2002). Les lois physiques de notre réel étant ainsi incluses dans un « *nuage mathématique* », rien ne s'oppose plus à penser que l'histoire de la vie sur Terre se trouve écrite dans les pages du grand Livre de l'univers. Une approche déterministe qui n'est pas si éloignée de ce que prône la Bible, à savoir que les étoiles, la Terre et la vie ont été créées par Dieu « *Que la lumière paraisse et la lumière parut* » (Genèse 1,3). En creusant davantage l'idée de l'univers déterministe, il semble logique de penser que si l'évolution du monde est programmée, les grandes découvertes scientifiques le sont aussi ! Ainsi, plus le temps passe, plus l'humanité se retrouverait avoir les moyens de comprendre les mystères de l'univers. Le physicien américain Richard Feynman (1918-1988) prétendit que si l'on voulait en apprendre davantage sur la nature de l'univers, il nous faudrait auparavant décrypter le langage mathématique qu'elle utilise. De même le physicien Léonard Susskind qui fut l'un des fondateurs de la théorie des cordes a déclaré « *Il est incontestable que l'univers dépend de quantité de paramètres dont le réglage est tel que le plus petit changement ferait que la vie ne pourrait pas apparaître, que la vie intelligente ne pourrait pas exister* ». En parlant des étoiles et des planètes, la Bible dit « *Il (Dieu) les a mis en place pour toujours, leur fixant une loi à ne pas enfreindre* (Psaumes 148, 6). Ainsi vu sous cet angle, la physique moderne ne fait que corroborer le contenu des textes bibliques, rédigés pour la plupart des milliers d'années avant notre ère. Pour ce qui est du hasard de l'évolution, celui-ci s'est manifesté sur notre planète par toute une succession de formes de vie entre lesquelles il n'existe, apparemment, pas de lien commun. Bien entendu, ces apparitions aussi hasardeuses qu'épizootiques restent incompréhensibles pour les scientifiques dans la mesure où elles ne répondent à aucun processus évolutionnistes. Ce qui nous semble pour nous les hommes n'être que le fruit du hasard, ne serait-il pas en réalité qu'une longue suite d'informations inscrites dans ce « *nuage mathématique* » si génialement mis en avant par certains physiciens ? La Bible révèle que Dieu a forgé la vie, sciemment, par étapes et en six jours. Dans le livre des Psaumes dont les textes sont attribués pour la plupart au

roi David, ce dernier parle de Dieu en ces termes « *Pour toi mille ans sont aussi brefs que la journée d'hier, déjà passée, ou quelques heures de la nuit* » (Psaumes 90, 4). Le temps de la Bible ne serait donc en définitive qu'une question d'interprétation sémantique. Rien ne s'oppose plus désormais, de la science ou de la religion, à entrevoir un espace-temps déterministe à la base des grandes innovations biologiques. L'œil du trilobite déjà si parfait à une époque où la vie s'expérimentait en une kyrielle de formes et d'anatomies différentes, l'œuf amniotique, la plume, la feuille, la fleur... la conscience... autant d'étincelles semées sur la portée du temps pour nous guider sur la voie d'une intelligence nouvelle. Le grand homme politique, philosophe et religieux indien Mohandas Karamchand Gandhi (1869-1948) n'a-t-il pas écrit dans son livre « *Lettres à l'Ashram* » : « *Les vérités différentes en apparence sont comme d'innombrables feuilles qui paraissent différentes et qui sont sur le même arbre* » (Gandhi, 1948). Des vérités/feuilles aujourd'hui éparpillées sur l'arbre de la connaissance mais qui, demain, nous l'espérons tous, s'unifieront pour que naisse une humanité plus ouverte aux différences.

LE CONTINUUM HUMAIN

Les sociétés humaines s'enferment toujours plus dans un monde clos où les lois de la nature s'effacent au profit de l'artificialité. Les activités agricoles, minières, pétrolières, forestières, la pêche... toutes sont pratiquées à outrance dans le seul but d'amasser des devises. L'argent règne sur une humanité qui, au nom du profit, a tout simplement déclaré la guerre au monde qui lui a donné la vie. Au 19^{ème} siècle, notre planète comptait un milliard d'habitants que déjà en 1930, ce chiffre avait doublé. La Terre en hébergeait sept milliards en 2011 et voilà que les prévisionnistes avancent déjà le chiffre de neuf milliards en 2045 (Kunzig, 2011). Les conséquences de cette explosion démographique se traduisent par la construction de villes démesurées. Partout et sur tous les continents, d'immenses métropoles abritent des dizaines de millions d'individus. Trois milliards, c'est le nombre de personnes qui habitent aujourd'hui les villes. Cette population urbaine se chiffrera à cinq milliards d'ici à 2030. Ainsi logé dans des petites

boîtes, qui elles mêmes s'empilent par milliards les unes sur les autres, l'humanité se synchronise au mouvement d'une gigantesque machine, une humanité impersonnelle, individualiste et résolument égocentriste. Difficile dans ces conditions d'apprécier la beauté du monde environnant, de méditer sur la destruction des forêts, de s'inquiéter du massacre de la biodiversité et du réchauffement climatique. Difficile en effet de voir le monde se décomposer derrière nos murs de verre et de béton. Dieu n'a-t-il pas dit « [...] *Qu'ils soient les maîtres des poissons dans la mer, des oiseaux dans le ciel et sur la terre, des gros animaux et des petites bêtes qui se meuvent au ras du sol !* » (Genèse 1, 26). Il ne fait aucun doute que ce verset de la Bible hisse les hommes et les femmes au rang de Maîtres de la planète. Or peut-on croire encore que ce sont les écrits bibliques qui ont précipité le monde dans le chaos alors que les pollutions dévastent le monde et que la science s'adonne à des activités de recombinaisons génétiques autrement plus préjudiciables ? Les biologistes moléculaires sont désormais capables de décortiquer l'ADN des plantes et des animaux à l'aide de machines-robots appelées séquenceurs. Une fois ces ADN décryptés, rien n'empêche ces mêmes biologistes de jouer les apprentis-sorciers et d'intégrer dans le génome d'une brebis, le gène à l'origine de la phosphorescence chez la méduse. Un autre exemple rapporté très récemment par la presse scientifique a été la création d'une chèvre transgénique dont le code génétique contient un gène d'araignée (Lazaris *et al.*, 2002). Nous vivons une époque où si la science est capable de modifier le génome d'un animal, rien n'empêche qu'elle ne puisse un jour, triturer l'ADN des hommes et des femmes. De telles perspectives enthousiasment certains alors que d'autres ne voient dans ces méthodes que l'accélérateur de notre propre chute. Depuis un demi-siècle, la technologie du silicium qui se trouve à l'origine de tout ce que nous connaissons de l'informatique et d'Internet en vient à générer des millions de bases de données traitant de domaines scientifiques très pointus. Il est désormais courant de dire que grâce à la toile, n'importe quel physicien qui maîtrise les lois de la fission nucléaire serait à même de construire une bombe atomique dans sa cuisine. Dans cinquante ou cent ans, n'entendrons-nous pas le même type de remarque concernant la fabrication d'un humain de synthèse dans sa cuisine ? À mesure que la science explore les profondeurs de la vie, elle en découvre ses mécanismes les plus intimes.

Propulsé par son appétit insatiable de vouloir tout découvrir, *Homo sapiens* s'est construit son propre monde. Le point ténébreux de cette histoire est que la psychologie humaine fonctionne sur deux plans très éloignés l'un de l'autre. L'aptitude de l'homme à découvrir, inventer, construire ou imaginer paraît sans limite or cette aptitude se heurte à des instincts primaires qui font que ces mêmes hommes s'étripent et s'égorgent au nom d'une religion ou d'une économie de marché. L'homme tue l'homme mais a-t-on déjà vu dans la nature un lion tuer un autre lion ? Non ! Il est effrayant de le dire mais force est de constater qu'il n'y a que l'homme pour perpétrer de telles horreurs de destruction intra-espèce. La Bible dénonce et punit le pêché du genre humain à travers les destructions cataclysmiques du Déluge, de Babel et de Sodome et Gomorrhe. Des milliers d'années plus tard, les choses n'ont apparemment pas changées. Les guerres de pouvoir et de religion déchirent un monde déjà malade de ses abus. La biodiversité s'étrécit comme peau de chagrin, la disparition des espèces s'opérant à un rythme dix à cent fois supérieure à la normale. Si d'ici à 2050 rien n'est tenté pour endiguer l'hécatombe, ce rythme atteindra un taux de décimation si important qu'il deviendra une menace pour l'espèce humaine. Nous ne sommes pas des êtres surnaturels pouvant nous passer du monde vivant, même si le mirage de notre invulnérabilité nous pousse à consommer toujours plus, à gaspiller toujours plus et, ce, au nom d'un capitalisme forcené qui méprise le monde qui nous entoure. Les hommes se prendraient-ils pour Dieu ? L'ingénierie génétique autant que son ingérence pas toujours heureuse dans les affaires de la nature tendraient à le prouver. Comme l'a si justement énoncé Théodore Monod dans son livre « *Et si l'aventure humaine devait échouer* », « *Je ne sais, mais une chose en tout cas demeure certaine : ou l'homme acceptera la réconciliation avec la nature, et les responsabilités qu'elle implique, ou bien il ira joyeusement engager sa race dans les plus graves périls* » (Monod, 2000). Malgré les menaces sans cesse plus lourdes que nous faisons peser sur notre magnifique et irremplaçable planète, il n'est toutefois pas trop tard pour que nous changions notre manière de pensée. La question qu'il nous faut maintenant nous poser le plus vite possible est : en sommes-nous capables ? L'avenir nous le dira ! Encore faut-il que nous survivions assez longtemps pour nous puissions nous racheter de nos erreurs passées !

CONCLUSION

L'INDÉTERMINISTE DU LIBRE ARBITRE

Nous voici désormais arrivés au terme de cette réflexion sur la vie plurielle. La plupart des scientifiques s'imaginent le monde comme étant la résultante d'une longue suite d'évènements issus du hasard. D'autres pensent au contraire que l'univers et tout ce qu'il contient d'inerte ou de vivant a obéi à une succession d'actions programmées. La science et la Bible racontent la même histoire mais en utilisant un langage différent. Entre les deux s'immisce le tissu unificateur du déterminisme qui tente de réconcilier les deux sœurs ennemies. Les thèses les plus progressistes de la paléontologie avancent que l'évolution du vivant s'opère sur de longues périodes et ce, jusqu'à ce qu'un évènement aussi bref que brutal mette un terme au processus enclenché. Vu sous cet angle, le hasard n'est rien d'autre qu'une faux qui tranche à l'aveugle la mauvaise herbe aussi bien que l'ivraie ! La Bible comme le déterminisme explique les choses autrement. Pour eux, l'univers a été façonné par un Dieu/nuage mathématique créateur de l'espace et du temps. L'évolution du cosmos, de la Terre et de sa biodiversité répond à une suite d'évènements prédéterminés. Or me direz-vous, si le monde a été programmé dans ses moindres détails, que représente la part du libre arbitre dans la vie de chacun d'entre-nous ? Ne sommes-nous pas, les hommes et les femmes de cette Terre, des milliards d'évènements au futur déjà tout tracé ? La science ne peut répondre à cette question dans la mesure où la notion de destinée lui est totalement étrangère. La Bible dit au contraire et en cela elle rejoint la thèse déterministe, que Dieu se trouve à la croisée du passé, du présent et du futur « *Je suis l'alpha et l'oméga, dit le Seigneur Dieu, celui qui est, qui était, et qui vient, le Tout Puissant* » (Apocalypse 1,8). Dans son œuvre « *L'être et le néant* », le philosophe français Jean-Paul Sartre (1905-1980) écrit « *l'homme jouit d'un libre arbitre parce qu'il a une conscience* ». Sartre pensait que l'homme échappe au déterminisme grâce à sa conscience qui lui permet de prendre des décisions (Sartre, 1943). Deux cents années avant que Sarthe ne développe sa philosophie existentialiste, le philosophe et mathématicien allemand Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) poussa au contraire loin le

déterminisme en disant que l'âme humaine était tout simplement « *un automate spirituel* » (Gaudemar, 1994). Pour Leibniz, la vie de chaque être humain est gouvernée par une série d'évènements établis à l'avance, ne laissant la place à aucune forme de libre arbitre. Imaginons maintenant un univers déterministe où les évènements passés, présents et à venir se retrouveraient inscrits sous la forme d'un dessin unique et universel composés d'un grand nombre de cases de formes et de tailles différentes. Libre à chacun de colorier les cases de ce dessin de teintes pastels ou de couleurs vives, de noir, de blanc ou de gris ; d'agencer ces couleurs de manière à ce qu'elles représentent un motif concret ou bien au contraire une figure abstraite. Chaque être humain possède donc en lui le loisir de composer un dessin où l'agencement personnel des couleurs ne représente rien d'autre que son libre arbitre. L'intelligence autant que la volonté, la sensibilité et l'imagination alimentent le moteur indéterministe qui permet à chacun d'entre-nous de nous déplacer dans l'univers déterministe. Si j'ai décidé d'écrire ce livre, c'est pour vous exposer mon point de vue sur les questions que soulève la vie sur Terre. J'aurais pu ne jamais écrire ce livre, toutefois mon goût pour l'écriture combiné à ma passion pour la recherche m'ont été de fidèles alliés pour concrétiser ce projet. Ce livre - fruit de mon libre arbitre - s'exprime par une petite case de couleur qui complètera le dessin qui prend forme à l'intérieur de ma grille déterministe. Interrogez-vous sur les couleurs et la forme du dessin que votre vie imprime à l'intérieur de cette grille ? L'univers déterministe ouvre en définitive une dimension plutôt sécurisante dans la mesure où ce sont les décisions des uns et des autres à l'intérieur de cette grille qui décident de l'avenir ou de la destruction du monde. L'évolution chaotique de la vie sur Terre que les darwinistes ont bien du mal à expliquer prend un sens nouveau lorsque nous l'incluons dans un cadre déterministe. Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955), à la fois prêtre jésuite, éminent chercheur en paléontologie, théologien et philosophe alla même jusqu'à dire que la matière et l'esprit se trouvent englobées dans une même explication cohérente du monde (Martelet, 2003). Ce concept d'Esprit-Matière avancé par Teilhard de Chardin détient le pouvoir de concilier l'Esprit et la Matière ou bien encore l'âme et le corps. Dieu n'a-t-il pas dit : « *Au commencement Dieu créa le ciel et la terre* » (Genèse 1, 1). « *La terre était comme un grand vide,*

l'obscurité couvrait l'océan primitif, et le souffle de Dieu agitait la surface de l'eau » (Genèse 1, 2). Les mathématiques et la physique explorent des chemins nouveaux qui conduisent à une façon de penser l'univers sans cesse renouvelée. Il y a vingt mille ans, lorsque *Homo sapiens* se terrait dans les cavernes pour échapper aux dangers d'une nature hostile, pas un de ces hommes ou de ces femmes n'aurait imaginé que leurs lointains descendants vivraient dans des tours de verre et d'acier regroupant des dizaines de millions de personnes. Personne à cette époque n'aurait pu le deviner tout comme l'humanité d'aujourd'hui ne peut concevoir le monde tel qu'il se présentera dans vingt mille ans. Si la science ne peut prédire l'avenir, la Bible le décrit dans son livre de l'Apocalypse en ces termes « *Puis je vis un nouveau ciel et une nouvelle terre. Le premier ciel et la première terre avaient disparu, et il n'y avait plus de mer. Et je vis la ville sainte, la nouvelle Jérusalem, qui descendait du ciel, envoyée par Dieu, prête comme une mariée qui s'est faite belle pour aller à la rencontre de son mari* » (Apocalypse 21, 1-2). La Bible qui commence par la création de la Terre et de toutes ses créatures se termine par un acte de destruction cataclysmique. De la Genèse à l'Apocalypse, la Bible raconte ainsi à l'intérieur d'un cycle, la naissance, l'épanouissement puis la destruction de la Terre et de ses habitants. Une humanité turbulente capable d'exprimer les meilleurs sentiments comme les plus vils. L'humanité est ainsi faite de contraste, d'espoir, d'intelligence et d'imagination. Nous avons déjà tant découvert et pourtant, il nous reste encore tant de choses à apprendre ! Comme l'a si justement énoncé le philosophe chinois Confucius (551-479 av. JC) « *La vraie connaissance est de connaître l'étendue de son ignorance* ». Malgré tout ce savoir accumulé depuis près de cent cinquante mille ans, l'humanité d'aujourd'hui ne se montre guère différente des hommes et des femmes du paléolithique prostrés autour d'un feu en attendant que le soleil se lève. La médecine nous guérit, les ordinateurs nous assistent dans la vie de tous les jours, les avions nous font voyager toujours plus loin et plus vite, les sondes stellaires sillonnent les limites les plus éloignées de notre système solaire et, pourtant, au nom d'idéologies différentes, nous nous entretenons en usant des moyens les plus barbares. Notre intelligence nous laisse le choix de répondre aux questions que soulève le monde en mettant en avant soit le bien, soit le mal. Deux

réponses diamétralement opposées qui induisent également deux futurs contraires. Vue sous cet angle, l'histoire de l'humanité repose en définitive sur un ensemble de décisions prises par chaque homme et chaque femme. Des décisions souvent difficiles à prendre mais qui ne représentent pourtant rien d'autre que ces parcelles d'indéterminisme qui personnalisent chacune de nos vies.

BIBLIOGRAPHIE

ALVAREZ W., KAUFFMAN E.G., SURLYLE F., ALVAREZ L.W., MICHAEL H.V., 1984 – Impact theory of mass extinction and the invertebrate fossil record. *Science*, 223: 1135-1141.

APOCALYPSE 1,8 – Salutations aux sept églises. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

APOCALYPSE 21, 1-2 – Le nouveau ciel et la nouvelle terre. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

AURENCHE O., 1992 – Proche-Orient : les plus anciens paysans du monde. In : Néolithique, la première révolution sociale. *Science & Vie, hors série*, 178: 32-34.

BENGTSON S., 1997 – Early Cambrian button-shaped phosphatic microfossils from the Siberian platform. *Palaeontology*, 20: 751-762.

BERNARD C., 1865 - Introduction à l'étude de la médecine expérimentale. Editions Flammarion, Collection Champs Classiques (2013), Paris.

BOGDANOV I., BOGDANOV G., 2013 – La fin du hasard. Editions Grasset, Collection essai français, Paris.

BOGDANOV I., BOGDANOV G., 2015 – Le code secret de l'univers. Editions Albin Michel, Collection essai Doc, Paris.

BOUTON P., PREAT A., THIBLEMONT D., EBANG OBIANG M., 2012 – Le Gabon à l'aube de la vie. *Pour la Science*, 413: 50-57.

BRIGGS D.E.G., 1979 – *Anomalocaris*, the largest known Cambrian arthropod. *Palaeontology*, 22: 631-664.

CARMICHAEL S.K., WATERS J.A., SUTTNER T.J., KIDO E., DEREUIL A.A., 2014 – A new model for the Kellwasser Anoxia Events (Late Devonian): Shallow water anoxia in an open oceanic setting in the

Central Asian Orogenic Belt. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 399: 394-403.

COIFFARD C., GOMEZ B., THEVENARD F., 2007 – Early Cretaceous Angiosperm invasion of Western Europe and major environmental changes. *Annals of Botany*, 100: 545-553.

CONWAY MORRIS S., CARON J.B., 2012 – *Pikaia gracilens* Walcott, a stem-group chordate from the middle Cambrian of British Columbia. *Biological Reviews*, 87: 480-512.

COSTA GISBERT E., GARCES CRESPO M., SAEZ A., CABRERA Lluís., LOPEZ BLANCO M., 2011 – The age of the "Grande Coupure" mammal turnover: New constraints from the Eocene Oligocene record of the Eastern Ebro Basin (NE Spain.). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 301: 97-107.

DARRIET F., 2016 – Development of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) larvae feeding on the plant material contained in the water. *Annals of Community Medicine and Practice*, 2: 1014.

DARWIN C., 1859 – L'origine des espèces. Editions Flammarion, Collection Philosophie (1992), Paris.

DAYHOFF M.O., 1972 – Atlas of protein sequence and structure, volume V. National Biomedical Research Foundation, Washington DC.

DAWKINS R., 1976 – Le gène égoïste. Editions Odile Jacob, collection Poches (2003), Paris.

DAWKINS R., 2006 – Pour en finir avec Dieu. Editions Perrin, Collection Tempus (2009), Paris.

DENTON M., 1985 – Évolution, une théorie en crise. Editions Flammarion, Collection Champs (1992), Paris.

DESCARTES R., 1637 – Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences. Editions Gallimard, Collection Folioplus Philosophie (2009), Paris.

DOUADY A., 1992 – Déterminisme et indéterminisme dans un modèle

mathématique. In : Chaos et déterminisme, Editions Le Seuil, Collection Points Sciences, Paris.

ECCLESIASTE 3,1 – Il y a un temps pour chaque chose. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

ESAÏE 24, 4-5 – La terre entière dévastée. In : Esaïe, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

ESAÏE 40, 26 – Dieu incomparable. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

FINNEGAN S., BERGMANN K., EILER J.M., JONES D.S., FIKE D.A., EISENMAN I., HUGHES N.C., TRIPATI A.K., FISCHER W.W., 2011 – The magnitude and duration of late Ordovician-early Silurian glaciation. *Science*, 331: 903-906.

FORTERRE P., GRIBALDO S., BROCHIER C., 2005 – Luca : à la recherche du plus proche ancêtre commun universel. *Médecine Sciences*, 10: 860-865.

FRANKHAM R., 2005 – Genetic and extinction. *Biological Conservation*, 126: 131-140.

GALLIEN C.L., 2002 – Homo. Histoire plurielle d'un genre très singulier. Presse Universitaire de France, collection Quadrige, Paris.

GANDHI M.K., 1948 – Lettres à l'Ashram. Editions Albin Michel, Collection spiritualités vivantes, Paris.

GAUDEMAR (de) M., 1994 – Leibniz de la puissance au sujet. Editions J. Vrin, Bibliothèque d'histoire de la philosophie, Paris

GENESE 1, 1 – GENESE 1, 2 – GENESE 1, 3 – GENESE 1, 9-10 – GENESE 1, 11-13 – GENESE 1, 20 – GENESE 1, 21-23 – GENESE 1, 24 – GENESE 1, 26 – GENESE 1, 28 – Dieu créa l'univers et l'humanité. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

GENESE 2, 7 – GENESE 2, 8-9 – GENESE 2, 16- 17 – GENESE 2, 21-22 – GENESE 2, 23 – GENESE 2, 25 – Le jardin d'Eden. In : Genèse, la

Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

GENESE 3, 1-3 – GENESE 3, 4-5 – GENESE 3, 9-11 – GENESE 3, 21-22 – L'homme et la femme chassés du jardin d'Eden. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

GENESE 5, 17 – Dieu décide d'épargner Noé. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

GENESE 11, 27-32 – Liste des patriarches de Sem à Abram. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

GOULD S.J., ELDRIDGE N., 1972 – Punctual equilibria. The tempo and mode of evolution reconsidered. *Paleobiology*, 3: 115-151.

GOULD S.J., 1989 – La vie est belle. Les surprises de l'évolution. Editions Seuil, Collection Sciences (1991), Paris.

HALDANE J.B.S., 1954 – The origin of life. *New Biology*, 16: 12.

HELMER D., 1992 – Premiers animaux domestiques. In : Néolithique, la première révolution sociale. *Science & Vie, hors série*, 178: 35-37.

HERSHKOVITZ I., MARDER O., AYALON A., BAR-MATTHEWS M., YASUR G., BOARETTO E., CARACUTA V., ALEX B., FRUMKIN A., GODER-GOLDBERGER M., GUNZ P., HOLLOWAY R.L., LATIMER B., LAVI R., MATTHEWS A., SLON V., BAR-YOSEF MAYER D., BERNA F., BAR-OZ G., YESHURUN R., MAY H., HANS M.G., WEBER G.W., BARZILAI O., 2015 – Levantine cranium from Manot Cave (Israel) foreshadows the first European modern humans. *Nature*, 520: 216-219.

IPCC., 2013 – Climate change 2013. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen SK., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley PM., (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge and

New York.

JEAN 1, 1-3 – La Parole de lumière et de vie. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

JOB 9, 9 – Réplique de Job : Dieu est trop fort pour moi. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

KORTLANDT A., 1972 – New Perspectives on Ape and Human Evolution. *Current Anthropology*, 15: 427-448.

KRAMER S.N., 1957 – L'Histoire commence à Sumer. Editions Flammarion Collection Champs (1994), Paris

KUNZIG R., 2011 – Population 7 billion. *National Geographic*, 219: 32-69.

LANCE C., 2013 – Respiration et photosynthèse. Histoire et secrets d'une équation. EDP Sciences, Les Ulis.

LAPLACE S., 1814 – Essai philosophique sur les probabilités. Cambridge University Press, Mathematic collection (2009), Cambridge.

LAZARIS A., ARCIDIACONO S., HUANG H., ZHOUL J.F., DUGUAY F., CHRETIEN N., WELSH E.A., SOARES J.W., KARATZAS C.N., 2002 – Spider silk fibers spun from soluble recombinant silk produced in mammalian cells. *Science*, 295: 472-476.

LEAKEY L., 1995 – La sixième extinction. Evolution et catastrophes. Editions Flammarion, Collection Champs (1997), Paris.

LEVEQUE C., MOUNOLOU J.C., 2008 – Biodiversité. Dynamique biologique et conservation (2^{ème} édition). Dunod, Paris.

LEVIN L., 2002 – Forbidden information. Proceeding of the 43rd Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science. 16-19 November 2002, Vancouver.

LINNAEUS C., 1735 – Systema Naturae. Engel-Ledeboer and Engel. B. de Graaf editions (1964), Nieuwkoop.

LOVELOCK J., 1988 – The ages of Gaia: A biography of our living earth. Oxford University Press, Oxford.

LYELL C., 1830 – Principles of geology. Volumes 1-3. John Murray Publisher, London.

MARGULIS L., BERMUDEZ D., 1985 – Symbiosis a mechanism of evolution: Status of symbiosis theory. *Symbiosis*, 1: 101-124.

MARTELET G., 2003 – Pierre Teilhard de Chardin ou le propre de l'homme dans son rapport avec Dieu. *Etudes* 2003/2 (Tome 398): 195-205

MARX K., 1843 – Critique de la philosophie du droit de Hegel. Edition Aubier, Collection Philosophie (1992), Paris.

MILLER S., UREY H.C., 1959 – Organic compounds synthesis on the primitive earth. *Science*, 130: 245-251.

MONOD T., 2000 – Et si l'aventure humaine devait échouer. Editions Grasset. Paris.

NEWTON I., 1687 – Philosophiae naturalis principia mathematica. Imprimeur S. Pepys, Regalis Societas Praeses, London.

OGDEN D.E., SLEEP N.H., 2012 – Explosive eruption of coal and basalt and the end-Permian mass extinction. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 109: 59-62.

OPARIN A.I., 1938 – The origin of life. The Mc Millan Compagny, New-York.

PALEY W., 1802 – Théologie naturelle, ou preuves de l'existence et des attributs de la divinité. J.J. Pachoud, Editeur-Imprimeur-Libraire (1818), Paris.

POINCARÉ H., 1908 – Science et méthode. Editions Flammarion, Paris.

PRESTON R., 1992 - The Mountains of Pi. *The New Yorker*, March 2, pp. 36-67.

PROVERBES 3, 20 – Sagesse et obéissance à Dieu. In : Proverbes, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle

(1994), Villiers-le-Bel.

PROVERBES 8, 23 – Sagesse et obéissance à Dieu. In : Proverbes, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villiers-le-Bel.

PROVERBES 20, 27 – La vie sociale et morale. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

PSAUMES 33, 13-15 – Louange au Dieu créateur et sauveur. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

PSAUMES 90, 4 – L'homme passe, Dieu reste. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

PSAUMES 148, 6 – Louange à Dieu dans le ciel et sur la terre. In : Genèse, la Bible, Ancien et Nouveau Testament. Alliance Biblique Universelle (1994), Villier-le-Bel.

RAUP D., 1979 – Conflicts between Darwin and Paleontology. *Field Museum of Natural History Bulletin*, 50: 22-29

RITCHIE A., GILBERT-TOMLINSOM J., 1977 – First Ordovician vertebrates from the Southern Hemisphere. *Alcheringa*, 1: 351-368

RONALD E.M., 1998 – One Long Experiment: Scale and process in Earth history. Columbia University Press, New-York.

RUHL M., BONIS N.R., REICHART G.J., SINNINGHE DAMSTE J.S., KÜRSCHNER W.M., 2011 – Atmospheric carbon injection linked to end-Triassic mass extinction. *Science*, 333: 430-434.

SARTRE JP., 1943 – L'être et le néant. Essai d'ontologie phénoménologique. Editions Gallimard, Collection Tel, numéro 1 (1976), Paris.

SEILACHER A., GRAZHDANKI D., LEGOUTA A., 2003 – Ediacaran biota : The dawn of animal life in the shadow of giant protists. *Paleontological research*, 7: 43-54.

SETLOW P., 1994 – Mechanisms which contribute to the long-term survival of spore of *Bacillus* species. *Journal of Applied Microbiology*, 76: 49-60.

SHAPIRO., 1986 – L'origine de la vie. Editions Flammarion, Collection Champs (1994), Paris.

SIMONTI C.N., VERNOT B., BASTARACHE L., BOTTINGER E., CARRELL D.S., CHISHOLM R.L., CROSSLIN D.R., HEBBRING S.J., JARVIK G.P., KULLO I.J., LI R., PATHAK J., RITCHIE M.D., RODEN D.M., VERMA S.S., TROMP G., PRATO J.D., BUSH W.S., AKEY J.M., DENNY J.C., CAPRA J.A., 2016 – The phenotypic legacy of admixture between modern humans and Neandertals. *Science*, 351: 737-741.

SMITH G.E., 1924 – Evolution of man. H. Milford, Oxford University Press, Oxford.

TURNER A.H., POL D., CLARKE J.A., ERICKSON G.M., NORELL M., 2007 – A basal dromaeosaurid and size evolution preceding avian flight. *Sciences*, 317: 1378-1381.

VIE J.C., HILTON-TAYLOR C., STUART S.N., 2009 – Wildlife in a changing world - An analysis of the 2008 IUCN red list of threatened species. Published by IUCN, Gland.

WALLACE A.R., 1911 – The world of life. Moffat, Yard and Compagny Publishers, New-York.

WOESE, CR., FOX G.E., 1977 – Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 74: 5088–5090.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

CHAPITRE 1 : LA SCIENCE, LA RELIGION ET LE DÉTERMINISME

- LA SCIENCE FACE À LA RELIGION
- LA RELIGION FACE À LA SCIENCE
- LE DÉTERMINISME

CHAPITRE 2 : LE PRÉCAMBRIEN

- AU COMMENCEMENT
- L'APPARITION DES PROTÉINES
- L'AVÈNEMENT DES ACIDES NUCLÉIQUES
- LES CELLULES PROCARYOTES
- UN BOND DANS LA COMPLEXITÉ : LES CELLULES EUCARYOTES
- NOM DE CODE : LUCA
- LA GLACIATION VARANGER (-660 à -635 Ma)
- LA FAUNE D'ÉDIACARA (-600 à -544 Ma.)

CHAPITRE 3 : LE PALÉOZOÏQUE

- LA FAUNE TOMMOTIENNE DU CAMBRIEN (-530 Ma)
- L'EXPLOSION CAMBRIENNE (-528 à -510 Ma).
- LES MYSTÈRES DE L'EXPLOSION CAMBRIENNE
- L'ORDOVICIEN (-505 à -438 Ma) : LA SORTIE DES EAUX

- DU SILURIEN AU DÉVONIEN (-438 à -360 Ma)
- UNE HISTOIRE DE CÔNES DE LA BIODIVERSITÉ
- L'ENFER VERT DU CARBONIFÈRE (-360 à -286 Ma)
- LA GRANDE HÉCATOMBE DU PERMIEN (-286 à -245Ma)

CHAPITRE 4 : LE MÉSOZOÏQUE

- UN MONDE DE REPTILES
- DES MAMMIFÈRES TIMIDES MAIS TENACES
- LES INVENTIONS DE LA NATURE
- UNE NÉMÉSIS TOMBÉE DU CIEL
- CATASTROPHISME VERSUS GRADUALISME

CHAPITRE 5 : LE CÉNOZOÏQUE

- LA RADIATION ÉVOLUTIVE DU PALÉOGENE (-65 à -24 Ma)
- LES HISTOIRES EN BOUCLE DE L'ÉVOLUTION
- LA RADIATION HOMINOÏDE DU NÉOGENE (-24 à -2 Ma)
- GLACIATIONS ET RADIATION HUMAINE DU QUATERNAIRE
- LA CRÉATION DE L'HOMME ET DE LA FEMME DANS LA BIBLE
- L'ÉVOLUTION DE L'HUMANITÉ VUE PAR LA BIBLE
- EN TERRE DES HOMMES
- LA ONZIÈME EXTINCTION

CHAPITRE 6 : LA VIE PLURIELLE

- L'ÉVOLUTION DIFFÉRENTIELLE DU VIVANT

— « *JE PENSE DONC JE SUIS* »

— LE DISCOURS DE LA PENSÉE ECLATÉE

— LE DISCOURS DE LA PENSÉE UNIFIÉE

— LE CONTINUUM HUMAIN

CONCLUSION : L'INDÉTERMINISTE DU LIBRE ARBITRE

BIBLIOGRAPHIE